

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechaniky

Napět'ově - deformační analýza bubnu automatické pračky

Stress - strain Analysis of Washing Machine Drum

Student:

Jiří Beneš

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Beneš**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3901R003 Aplikovaná mechanika
Téma: **Napětově-deformační analýza bubnu automatické pračky**
Stress-Strain Analysis of Washing Machine Drum

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište využití průmyslových automatických praček, uveďte jejich specifika ve srovnání s běžnými automatickými pračkami,
- 2) Poskytnutý geometrický model bubnu upravte do podoby pro použití k simulaci pomocí metody konečných prvků,
- 3) Pro definované okrajové podmínky proveďte pomocí metody konečných prvků napětově-deformační analýzu vybraných součástí bubnu,
- 4) Diskutujte získané výsledky napětově-deformační analýzy, případně na jejich základě uveďte doporučení pro úpravu geometrie analyzovaných součástí bubnu.

Seznam doporučené odborné literatury:

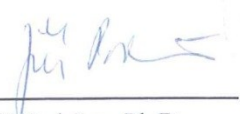
1. ANSYS, Inc. *ANSYS Release 11 Documentation*. SAP IP, Inc., 2007. V elektronické podobě dostupné jako součást instalace programu ANSYS 11.
2. KOLÁŘ, V., NĚMEC, I., KANICKÝ, V. *FEM : Principy a praxe metody konečných prvků*. 1. vyd. Praha : Computer Press, 1997. 401 s. ISBN 80-7226-021-9.
3. COOK, R. D. *Finite Element Modeling for Stress Analysis*. 1st edition. New York : Wiley & Sons, 1995. 320 s. ISBN 0-471-10774-3.
4. KUČERA, J. *Stručný úvod do mechaniky lomu. Část I, Vruby a trhliny, nestabilní lom*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská, 1993. 106 s. ISBN 80-7078-218-8.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

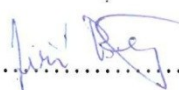

doc. Ing. Jiří Podešva, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2012

.....


Jiří Beneš

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2012

.....


Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Beneš

Adresa trvalého pobytu autora práce: Karla Sedláka 1226/14, 784 01 Litovel

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BENEŠ, J. *Napětově – deformační analýza bubnu automatické pračky*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, 2012, 61 s. Vedoucí práce: Poruba, Z.

Bakalářská práce se zabývá napětově – deformační analýzou bubnu automatické pračky MB90. V úvodu je popsána historie vzniku praček, seznámení s výrobcem praček Primus a srovnání pračky průmyslové s běžnou automatickou pračkou. Další kapitola se zabývá metodou řešení. Následující kapitola popisuje dodaný model bubnu automatické pračky firmy Primus, jeho úpravy, modelování náplně a materiál využitý pro řešení. V následující kapitole je popsáno zavedení okrajových podmínek. Převedení geometrického modelu na konečnoprvkový a řešení kontaktů mezi součástmi je popsáno v samostatné kapitole. V poslední kapitole je řešena pomocí programu ANSYS 13.0 napětově – deformační analýza bubnu automatické pračky, s uvažováním náplně i bez náplně, seznámení s teorií plasticity a následně řešena napětově - deformační analýza s uvažováním plasticity.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BENEŠ, J. *Stress - strain Analysis of Washing Machine Drum*: Bachelor's Work. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Mechanics, 2012, 61 pages. Supervisor of the work: Mr. Poruba, Z.

This bachelor's work addresses the stress - strain analysis of the drum of washing machine MB90. The development of a washing machine invention, an introduction to company Primus - the manufacturer of washing machines as well as a comparison of an industrial washing machine with a common one, are described in the preamble to this work. The delivered type of the washing machine drum by Primus, its modifications, modeling of a filling and the material used for the solution are described in the first chapter. The implementation of boundary conditions is described in the second chapter. The transition of a geometric model into the finite element one and the solution of contacts among components are outlined in a separate chapter. The last chapter consists of the stress - strain analysis of the washing machine drum utilizing program ANSYS 13.0, with or without the filling, an introduction to the theory of plasticity and subsequently the solution of the stress - strain analysis considering plasticity.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých značek a symbolů	7
1 Úvod	8
1.1 Historie praček	8
1.2 Výrobce praček Primus	10
1.3 Využití průmyslových praček hygienických	11
1.4 Srovnání specifiky pračky MB 90 s běžnou automatickou pračkou	11
2 Metoda řešení	13
2.1 Numerické řešení	13
2.2 Metoda konečných prvků	13
3 Model	15
3.1 Úprava modelu	18
3.2 Náhrada děrovaných součástí	23
3.3 Modelování náplně	30
3.4 Materiál bubny pračky a náplně	32
4 Okrajové podmínky	33
5 Síť a kontakty	35
6 Výsledky napět'ově – deformační analýzy	40
6.1 Výsledky napět'ově – deformační analýzy bez náplně	40
6.2 Výsledky napět'ově – deformační analýzy s náplní	44
6.3 Teorie plasticity	48
6.4 Výsledky napět'ově – deformační analýzy bez náplně s uvažováním plasticity	50
6.5 Výsledky napět'ově – deformační analýzy s náplní a uvažováním plasticity	56
7 Vyhodnocení	63
8 Závěr	64
Literatura	66
Poděkování	67

Seznam použitých značek a symbolů

m	[kg]	Hmotnost
V	[l]	Objem
l	[mm]	Délka
Δl	[mm]	Prodloužení
ρ	[kg/m ³]	Hustota
n	[ot/min]	Otáčky
ω	[rad/s]	Úhlová rychlost
E	[MPa]	Modul pružnosti
μ	[-]	Poissonovo číslo
F	[N]	Síla
ε	[mm]	Deformace
τ	[MPa]	Napětí
τ_A	[MPa]	Mez úměrnosti
τ_B	[MPa]	Mez kluzu
τ_E	[MPa]	Mez pružnosti
τ_C	[MPa]	Mez pevnosti

1 Úvod

1.1 Historie praček

Praní prádla je staré téměř jako lidstvo samo. Jak se lidé vyvíjeli, měli stále větší potřebu čistoty své i svého prádla. Zpočátku se pralo v čisté vodě – v řece, v potoce otloukáním prádla o kamení a jeho mácháním.

Velkým skokem byl vynález valchy (původně se jí říkalo prací deska). Ty se



v různých dobách vyráběly z různých materiálů (dřevo, pálená hlína, kámen, plech, sklo, umělá hmota). První zmínky o valše se dochovaly z první poloviny 18. století.

Obr. 1-1 - Valcha na praní

Vznik prvních praček

První pračky začaly vznikat v polovině 19. století, byly dřevěné a vyráběly se v domácích truhlářských dílnách na objednávku. S rozšířením praček do povědomí více lidí a s rozvojem průmyslové revoluce na konci 19. století vznikaly firmy, které se na výrobu praček přímo specializovaly

Valchové pračky

Zpočátku se vyráběly tzv. valchové pračky. Byly tvořeny dvěma dřevěnými půlválci s dřevěnými lištami, které se proti sobě kývaly a prádlo se mezi nimi třelo. Zároveň se však i velmi brzy opotřebilo a zničilo.

Zvonové pračky

V USA našly oblibu tzv. zvonové pračky. Prádlo se pralo proudem, který vytvářel zvon pohybující se v nádobě vertikálně nahoru a dolů.

Práčové pračky

Dalším typem byly pračky práčové. Práce byla tělesa různého tvaru umístěná uvnitř bubnu a otáčela se v úhlu 90 až 120 stupňů v pevně stojící prací nádobě. Opět však docházelo k rychlému opotřebení prádla.

Vibrační pračky

Vibrační pračky prádlo sice nezničily, ale ani jej dobře nevypraly. Vkládaly se do nádoby s prádlem v mýdlovém roztoku. Prádlo se v nich nepohybovalo a špína, která se vibracemi odstranila, znovu na tkanině ulpívala a prádlo se muselo předem vyvařit.

Vířivé pračky

Později se přišlo na to, že stačí, aby prádlo ve vodě pouze vířilo, obzvláště s použitím mýdla. Posledním typem praček před nástupem automatických strojů se tedy staly pračky vířivé. Tzv. vířiče rozproudily mýdlový roztok, do kterého se následně prádlo vložilo. Nevýhodou bylo to, že se zamotávalo.

Velkým skokem v historii praní byl vynález elektřiny a její užití v malých motorech. Tento vynález patentoval v roce 1894 Nikola Tesla.

První elektrická pračka

První elektrickou pračku sestrojil v roce 1906 Američan Alva Fischer

Důležitý byl také přechod na výrobu kovových praček. Snaha o úsporu času a práce vedla konstruktéry k nápadu ohřevu vody přímo v pračce. Zprvu se pod nimi topilo jako v kamnech, později se i zde začala využívat elektřina.

Sušení prádla



Obr. 1-2 - ždímačka

K odstranění vody z vypraného prádla se používaly válečkové nebo lisové ždímačky. Časem se místo ždímačky začala používat odstředivka. Ta původně stála samostatně vedle pračky, až později se stala její součástí.

Byla poháněna vlastním motorem anebo převodem od motorku vlastní pračky.

Stále však bylo praní časově náročné, protože vyžadovalo neustálou přítomnost člověka. Nemusel se už přístroj pohánět pákou či kolem, musel však dát prádlo prát, odstředit, vymáchat a znovu odstředit.

Vynález automatické pračky

Touha po úspoře času vedla k vynálezu automatické pračky. Jednotlivé úkony byly prováděny v jednom bubnu a byly řízeny nastavitelným programátorem.

Automatické pračky se staly populárními v 60. letech 20. století.

Současné pračky jsou dostupné ve dvou hlavních provedeních: plnění shora a plnění předem. Prádlo se dává do válce, bubnu, který se otáčí, prádlo je lopatami vynášeno nahoru a vlivem gravitace padá na dno bubnu. Následkem je průnik prášku a vody do látky. [1]

1.2 Výrobce praček Primus

Firma Primus vyrábí profesionální prádelenskou techniku již více než 75 let. Výsledkem získaných zkušeností a know-how je kompletní řada výrobků vynikající kvality, jejichž spolehlivost a technické přednosti se již mnohokrát prokázaly. Všechny stroje jsou konstruovány tak, aby byly bezpečné a energeticky úsporné a zároveň splňovaly ty nejvyšší nároky kladené na zpracování materiálu. [2]



Obrázek 1-3 – montážní linka firmy Primus

Společnost Primus má své vlastní konstruktéry, kteří zhotoví kompletní model pračky a samotný výpočet napětí a deformací bubnu pračky si nechávají provést mimo tuto firmu.

Tato práce se zabývá výpočtem napětí a deformací bubnu hygienické průmyslové pračky firmy Primus, s označením MB 90

1.3 Využití průmyslových praček hygienických

Hygienické průmyslové pračky jsou určeny pro praní silně znečištěného prádla v profesionálních provozech a prádelnách, nemocnicích, domovech sociální péče, domovech důchodců a dalších provozech, kde je požadováno oddělení znečištěného a vypraného prádla dělicí mezistěnou. [3]

1.4 Srovnání specifik pračky MB 90 s běžnou automatickou pračkou

	MB 90	Běžná automatická pračka
Kapacita	90 kg	7 kg
Objem bubnu	900 l	56 l
Průměr bubnu	Ø1000 mm	Ø 450 mm
Počet komor	3	1
Max. otáčky odstředění	800 ot./min	400 – 1400 ot./min
Rozměry stroje (V×Š×H)	1805×2275×1615 mm	850×600×600 mm
Hmotnost	2810 Kg	90 kg
Spotřeba studené/teplé vody na prací cyklus	966/242 l	57 l



Obrázek 1-4 - pračka MB 90



Obrázek 1-5 - běžná automatická pračka

2 Metoda řešení

Pro řešení napětí - deformační analýzy bubnu hygienické průmyslové pračky bude využito počítačového modelování, pomocí metody konečných prvků v programu ANSYS 13.0

Bude řešeno rozložení napětí a deformací v tělese bubnu průmyslové hygienické pračky, s uvažováním náplně i bez náplně, kde náplní je myšleno prádlo, které bude vymodelováno jako jednoduché objemové těleso a nadefinovány vlastnosti materiálu, aby bylo dosaženo deformace podobné struktuře prádla.

2.1 Numerické řešení

Numerické řešení je řešení přibližné. Při tomto postupu se převádí problém hledání spojitých funkcí na problém hledání konečného počtu neznámých parametrů, pomocí nichž se hledané funkce přibližně aproximují. Tento přechod je označován jako diskretizace spojitého problému. Diskretizovaný problém je řešen algebraickými prostředky v konečném počtu kroků. Bez použití výpočetní techniky je tento proces velice těžko zvládnutelný a to je hlavním důvodem, proč se numerické metody začaly bouřlivě rozvíjet až v druhé polovině dvacátého století. Numerické řešení je v zásadě dostupné pro každou matematicky popsatelnou úlohu, jakékoliv geometrie a jakkoliv komplikovanou. Není to tak úplně pravda, protože při praktických aplikacích je složitost úlohy omezena kapacitou dostupného hardware a časovými nároky na výpočet. Výsledky numerického řešení se však vztahují jen ke konkrétní úloze. Jakékoliv úpravy a optimalizace vyžadují opakování celého procesu tvorby a řešení modelu. Existuje mnoho metod pro numerické řešení. V současnosti je bezesporu nejrozšířenější metodou metoda konečných prvků. Před příchodem MKP se v hojné míře používala tzv. metoda sítí. Další, v současné době využívanou metodou, ale ne tak jako MKP, je metoda hraničních prvků (MHP). [4]

2.2 Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda sloužící k simulaci průběhů napětí, deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla, proudění tekutin atd. na vytvořeném modelu.

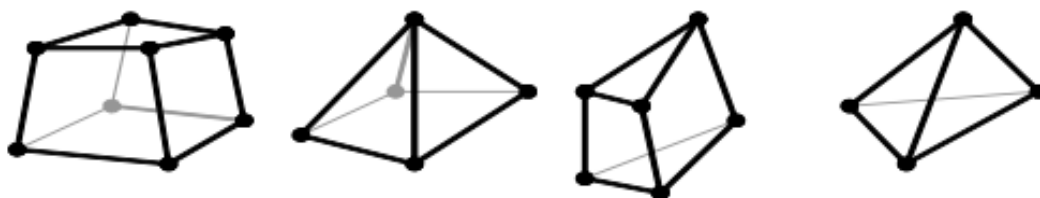
Posuzovaná součást z hlediska vnitřních napětí a vnějších deformací s ohledem na vnější síly, tvar součásti a její fyzikální veličiny je rozdělena na konečný počet prvků – elementů. Tyto mají definovaný tvar – např. čtyřstěn. Zatížení těchto prvků vede

v konečném důsledku k řešení řady rovnic. Metoda konečných prvků je založena právě na řešení soustavy rovnic, popisujících model součásti, jeho vlastnosti a zatížení. Tohoto postavení bylo vzhledem k univerzálnosti metody dosaženo velmi rychle po jejím vzniku, který bývá často spojován s rokem 1956 podle data první souborné publikace. Myšlenky algoritmu výpočtu však byly publikovány mnohem dříve. Teprve spojení těchto myšlenek s číslicovým počítačem, umožňujícím v 50. letech již dostatečně efektivní řešení větších soustav algebraických rovnic, vedlo k dynamickému rozvoji metody. Samotný název metody pochází z roku 1960 z anglické verze The Finite Element Method a zdůrazňuje tu skutečnost, že základním stavebním kamenem metody je prvek konečných rozměrů.

Rozvoj MKP vedl přirozeně k souběžnému vzniku více programů, postavených na bázi algoritmu MKP a vyvíjených zpočátku v univerzitním prostředí v souvislosti s řešením výzkumných úkolů. Už v průběhu 60. let se však stále častěji používalo vyvinutého softwaru k řešení inženýrských problémů, vycházejících přímo z požadavků průmyslové praxe. Zájem o nový výpočtový prostředek pak přirozeně vedl k rozvoji některých programů na čistě komerční bázi.

S nástupem CAD systému a zvláště se vznikem 3D modelářů dochází přímo ke skokové změně. Současné období lze charakterizovat jako vzájemné sbližování SW a rostoucí zájem technických pracovníků s ohledem na komfort nabízených prostředí SW. Dochází k propojení CAD a MKP systémů a je snaha zavádět výpočty a simulace napětí a deformací přímo do fáze návrhu součástí.

Postupně zřejmě dojde k omezení počtu komerčně nabízených systémů, mezi nimiž se nakonec uplatní jen několik nejsilnějších firem. Za nejúspěšnější lze v současné době považovat systémy ABAQUS, NASTRAN a ANSYS. [5]

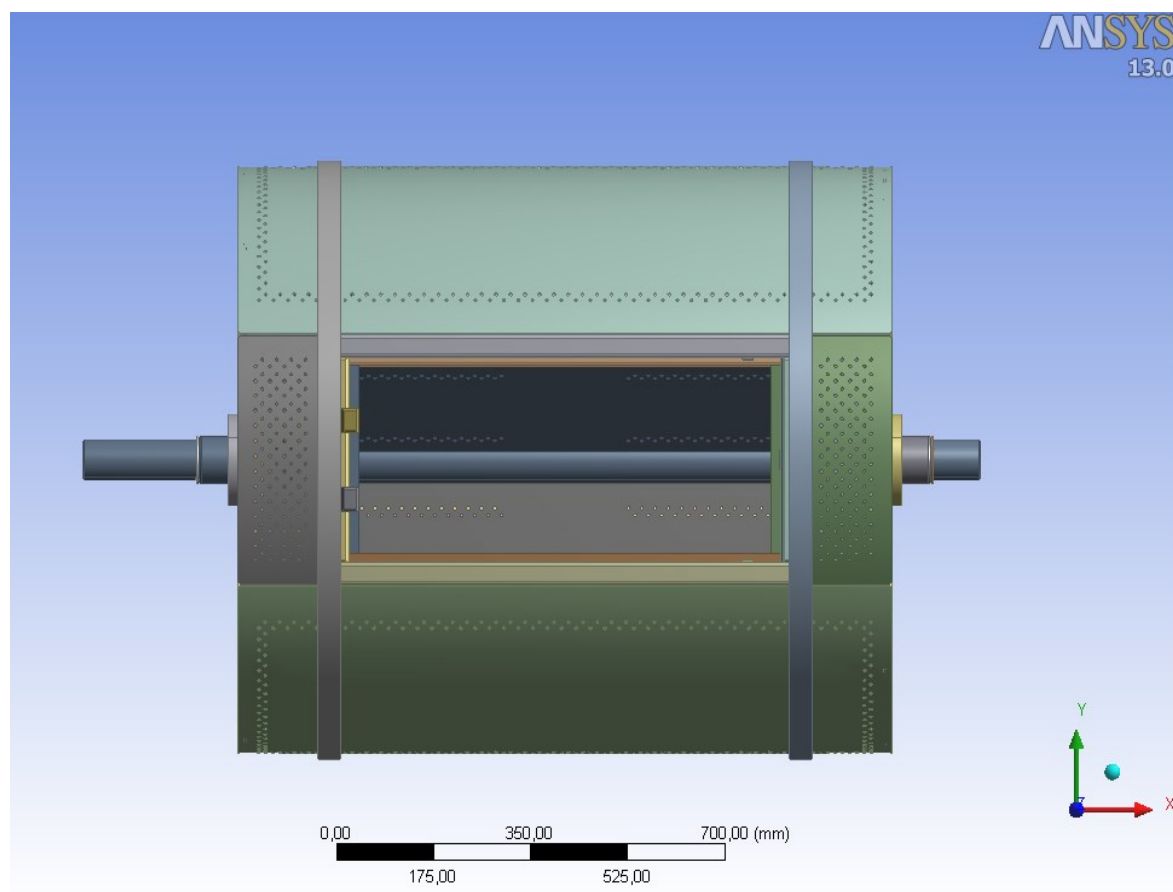


Obrázek 2-1 - typy elementu - 3D prvky

3 Model

Kapitola bude obsahovat seznámení s dodaným modelem firmy Primus. První podkapitola se bude zabývat chybami při modelování a následně úpravami dodaného modelu bubnu automatické pračky. V druhé podkapitole bude řešena náhrada děrovaných součástí bubnu automatické pračky a v následující podkapitole modelování náplně. V poslední řadě budou uvedeny využití materiály pro řešení napěťově – deformační analýzy bubnu automatické pračky.

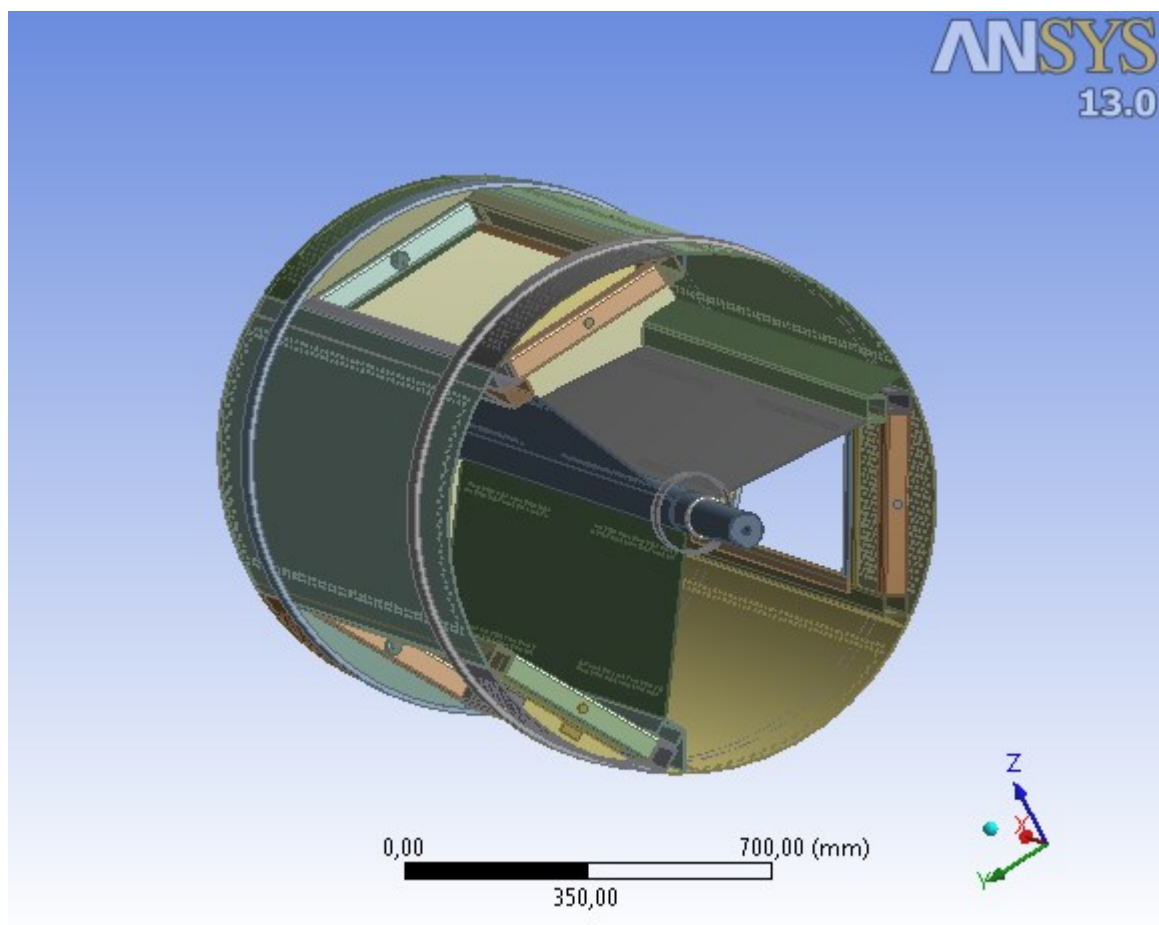
Model byl dodán konstrukčním oddělením firmy Primus ve dvou souborech, vytvořených v CAD programech. V prvním souboru byl dodán buben pračky bez dvířek a v druhém souboru byly dodány chybějící dvířka bubnu pračky.



Obrázek 3-1 – Model bubnu pračky bez dvířek

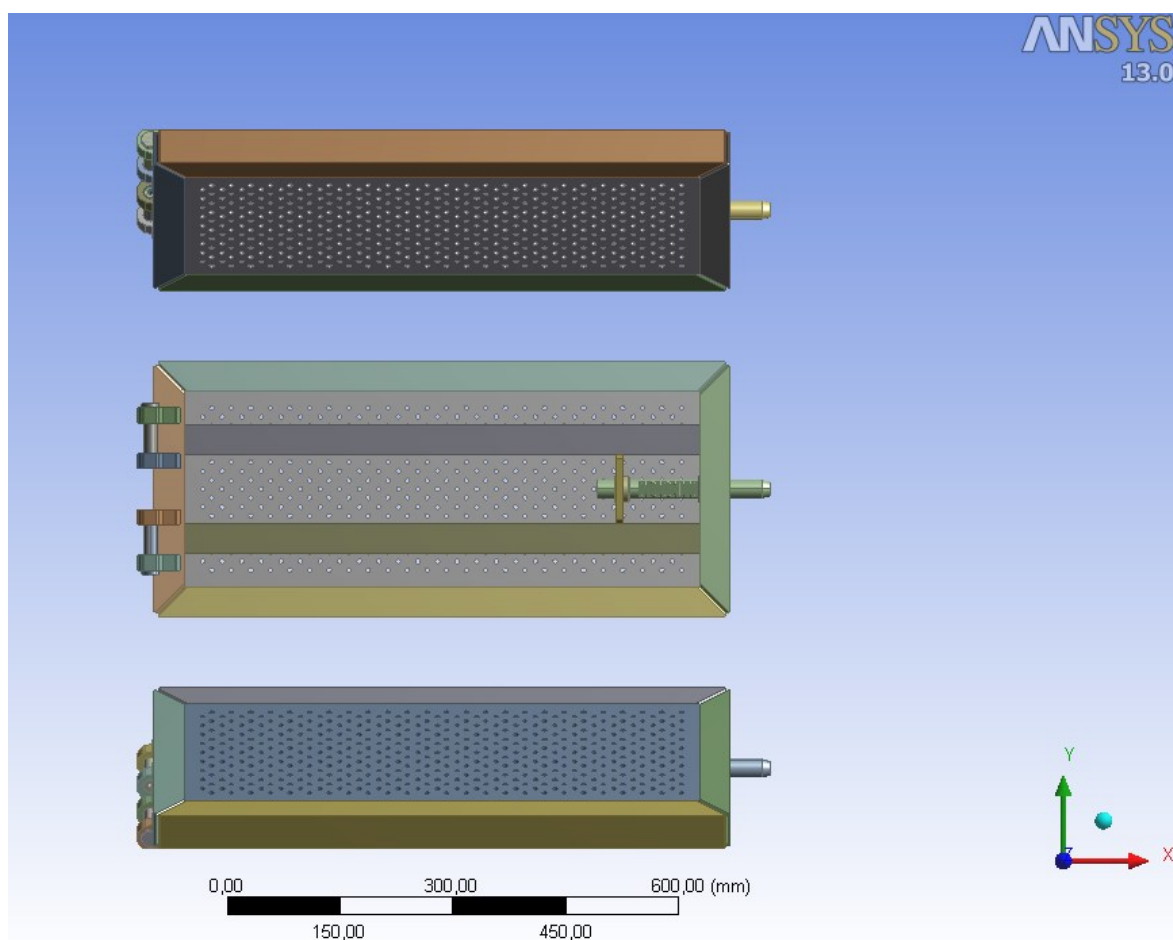
Na obrázku 3-1 a 3-2 je vidět model bubnu pračky získaný od zadavatele, na obrázku 3-2 je odstraněna viditelnost bočnice bubnu pračky pro lepší náhled do vnitřní

části bubnu. Uvnitř bubnu pračky je viditelné rozdělení na 3 části. Tyto bariéry se nachází právě u hygienických praček, které jsou určeny pro praní silně znečištěného prádla.



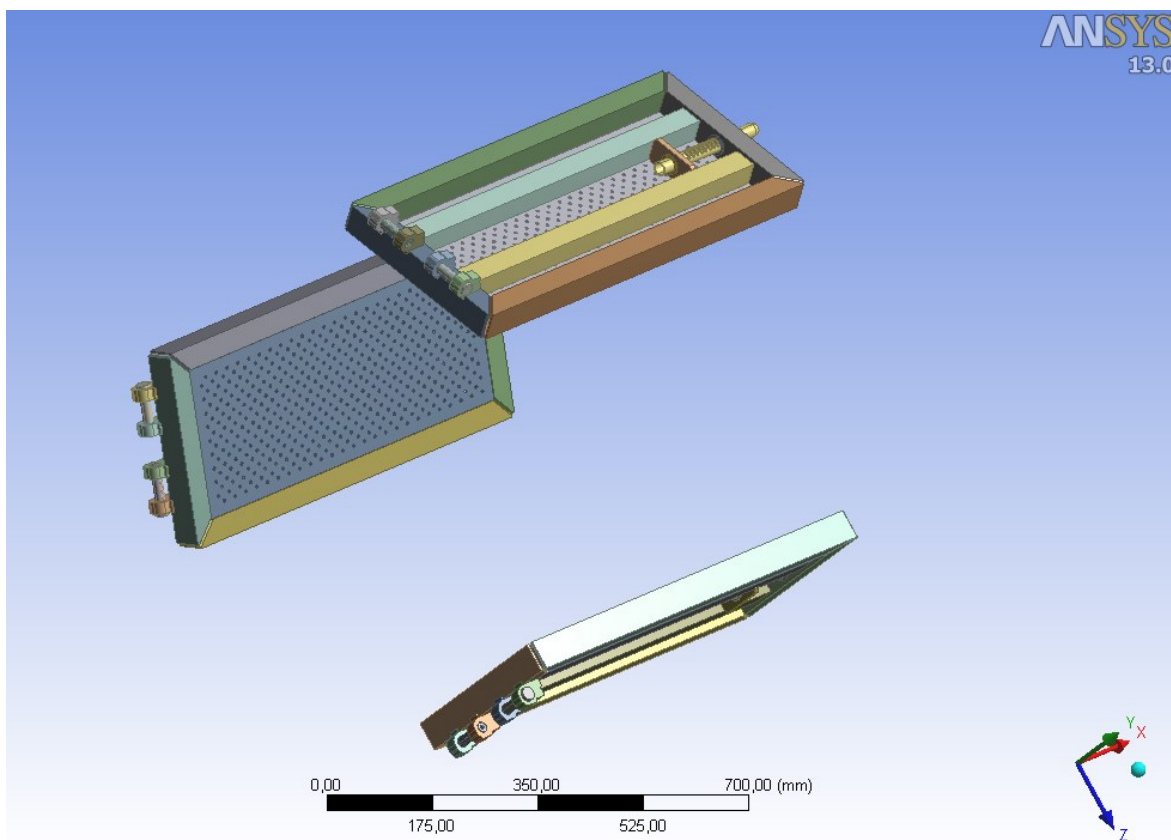
Obrázek 3-2 - Model bubnu pračky bez dvířek ISO pohled

Na modelu je zřejmé, že bude potřebovat mnoho úprav. V první řadě je vidět, že děrování po obvodu bubnu pračky je jen naznačeno a není úplné, to protože na počítači konstruktéra, který vytvářel model, byla slabá grafická karta, což způsobilo špatnou manipulaci s modelem, proto je děrování naznačeno jen po okrajích ploch, které jsou ve skutečnosti děrovány po celém obsahu. V následující kapitole budou provedeny úpravy všech zkosených a zaoblených hran atd. (viz. Kapitola 3.1).



Obrázek 3-3 – Model dvířek bubnu pračky

Na obrázku 3-3 a 3-4 je vidět model dvířek, na kterých bude nutno provést obdobné úpravy. Po konečných úpravách na samostatných modelech bude dalším cílem dát modely dohromady a tím získat kompletní model bubnu pračky, připravený pro další operace.



Obrázek 3-4 - Model dvířek bubnu pračky ISO pohled

3.1 Úprava modelu

Při úpravách modelu je důležité dbát na to, abychom se nedopustili chyb. Jelikož každý člověk chybuje, je chyba realitou, se kterou se musí počítat. Chyby při modelování jsou následující:

Chyba kvalitativní:

Kvalitativní chyba je chyba nejzávažnější, kdy daný model neobsahuje všechny důležité vlastnosti podstatné z hlediska řešení daného problému. Chyba je nejzávažnější, protože je těžko odhalitelná. Model se chová správně, ale neřeší námi hledaný problém.

Chyba složitosti:

Chyba složitosti je opakem předchozí chyby, kdy model obsahuje kromě všech podstatných vlastností i vlastnosti nepodstatné. V lepším případě se prodlouží doba řešení problému, ale v horším případě se nemusí získat řešení úlohy vůbec.

Chyba kvantitativní:

Kvantitativní chyba je dalším typem chyby, kdy model obsahuje všechny podstatné vlastnosti z hlediska řešení problému, ale jejich kvantitativní vyjádření je na druhé rozlišovací úrovni pro řešení problému nedostatečné.

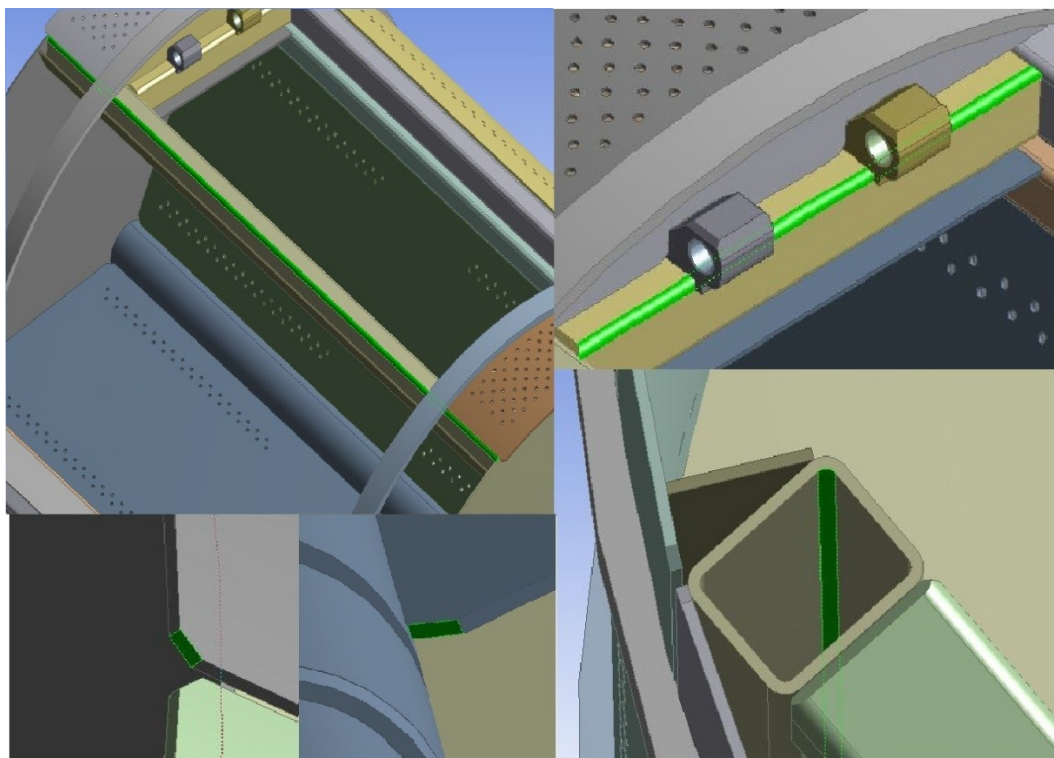
Chyba konkretizační:

Chyba konkretizační je častou chybou, která se vyskytuje při realizaci řešení. Model je vytvořen správně, obsahuje všechny podstatné vlastnosti, ale při jeho vlastním řešení vznikne chyba, např. chybné zadání vstupních údajů, chyba v nevhodné volbě použitého programu, aj. Tento typ chyb je snadno odhalitelný při kontrole získaných výsledků.

Kromě uvedeného se může v modelu objevit i tzv. chyba formální. [4]

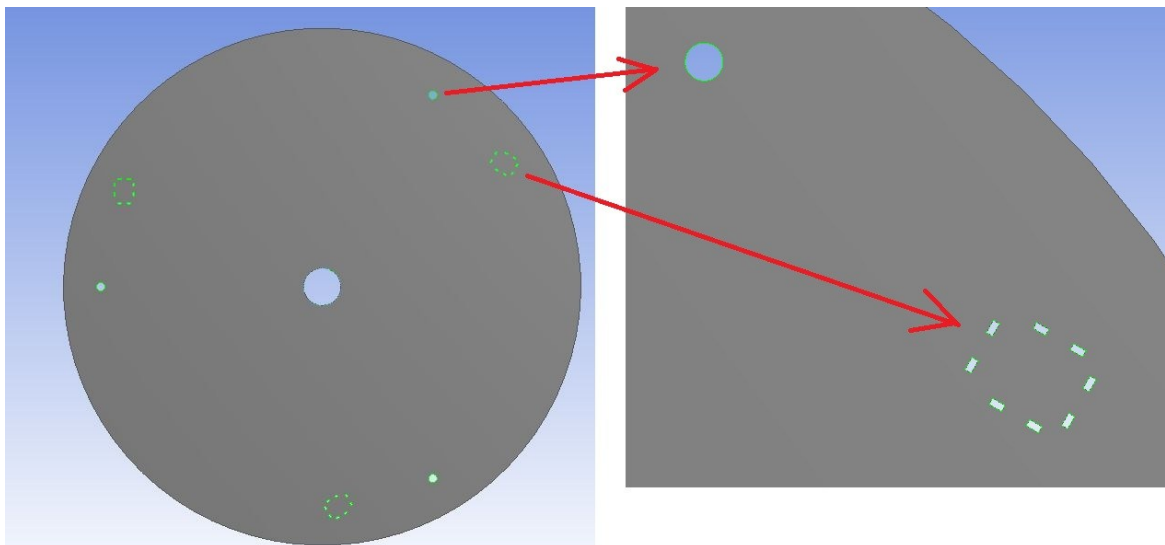
V první řadě bude řešena úprava modelu, aby se předešlo kvantitativní chybě, což obnáší úpravy hran, děrování a odstranění pro výpočet nepodstatných čepů a podobně.

Na modelu je velké množství zkosených a zaoblených hran. Proto bude snahou zbavit se všech těchto zkosených a zaoblených hran jako jsou znázorněny na *Obrázku 3-5*.



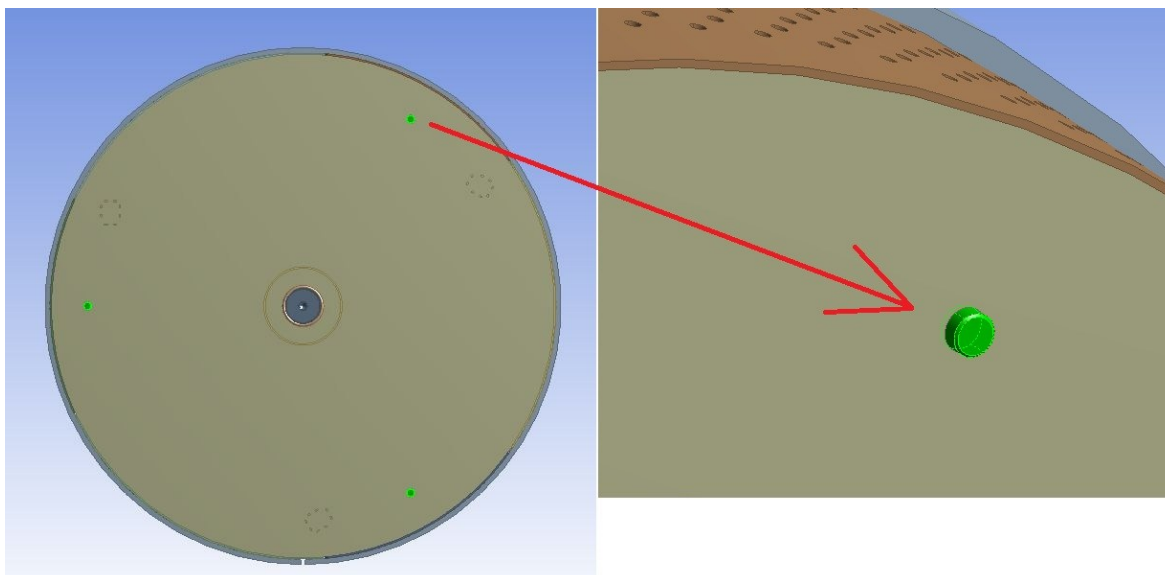
Obrázek 3-5 – zkosené a zaoblené hrany

V další fázi bude odstraněno některé děrování (viz. *Obrázek 3-6*).



Obrázek 3-6 - děrování

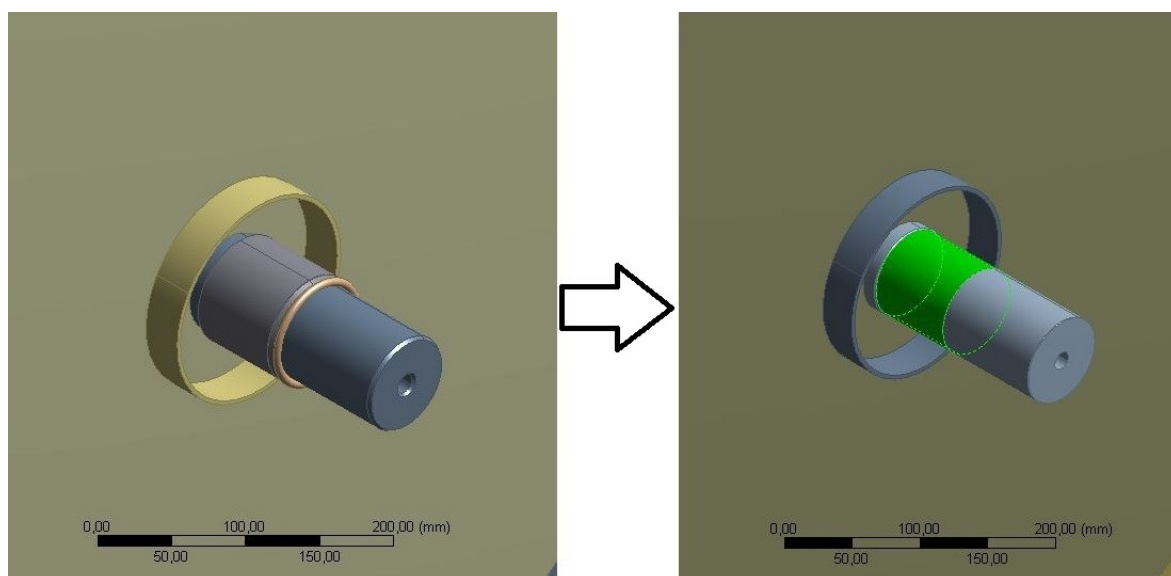
Aby na celém modelu nezůstaly žádné součásti, které mohou být nahrazeny okrajovými podmínkami, jako například některé čepy (viz. *Obrázek 3-7*), které na výpočet nemají vliv, ale mohly by jej značně prodlužovat, budou tyto odstraněny.



Obrázek 3-7 - čepy

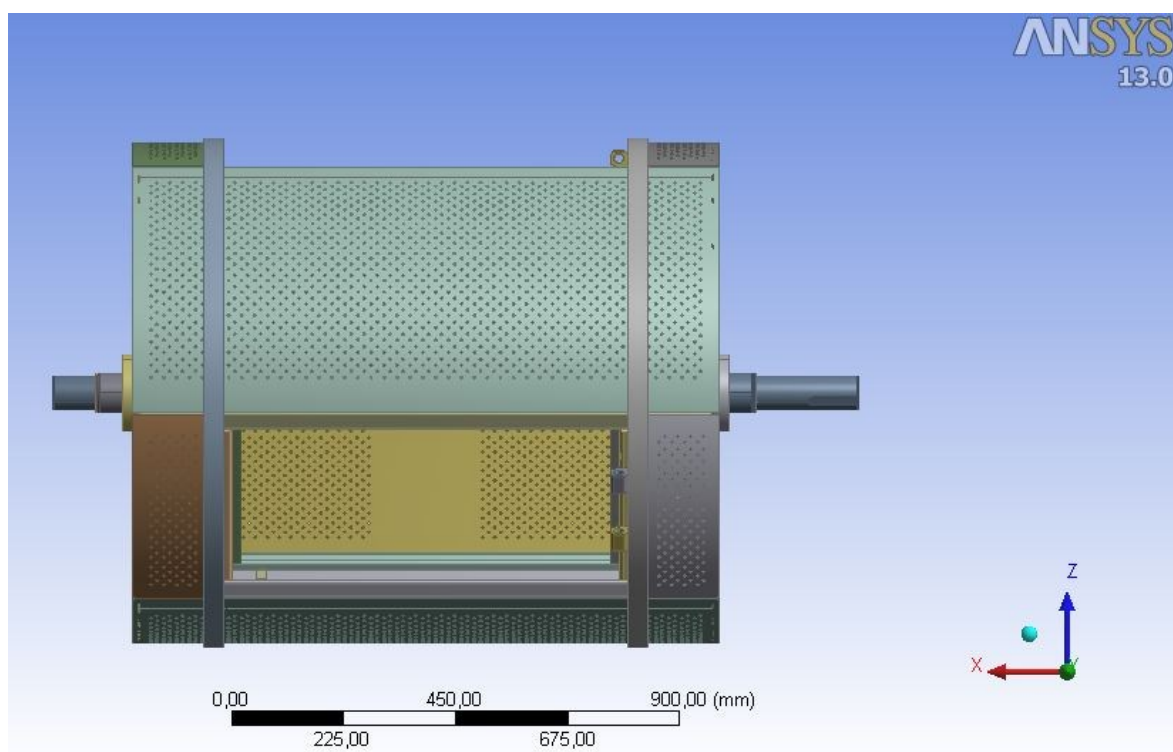
Po odstranění všech zkosených a zaoblených hran, některých děrování a pro výpočet nepotřebných součástí se model musí upravit, aby bylo možno zadat okrajové podmínky.

Hřídel bubnu pračky je uložena v ložiskách, které budou z modelu odstraněny podobně jako čepy apod. a budou nahrazeny plochami, na které bude možno zavést okrajové podmínky.

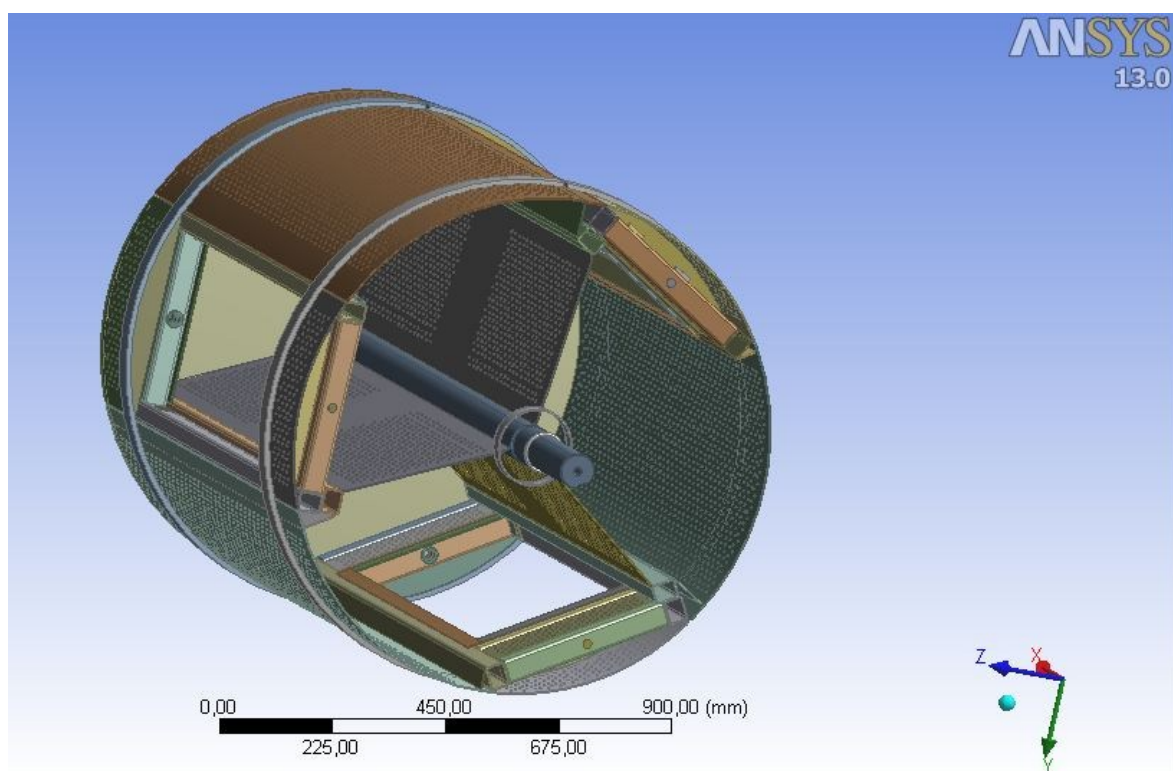


Obrázek 3-8 – Nahrazení ložiska plochou

Dále bude věnována pozornost děrování, které je po celém obvodu pračky a na bariérách ve vnitřní části bubnu pračky. Toto děrování není pro výpočet zanedbatelné, protože značně oslabí průřez součásti. Velký počet děrování by měl silný dopad na dobu řešení problému, jelikož by se špatně tvořila síť mezi těmito dírami. Proto bude provedena tzv. náhrada, kdy děrované součásti budou vyměněny za součásti bez děr se stejnou geometrií a menší tloušťkou. (Více v následující kapitole 3.2)



Obrázek 3-9 – Model bubnu pračky bez dvířek s kompletním děrováním po obvodu bubnu

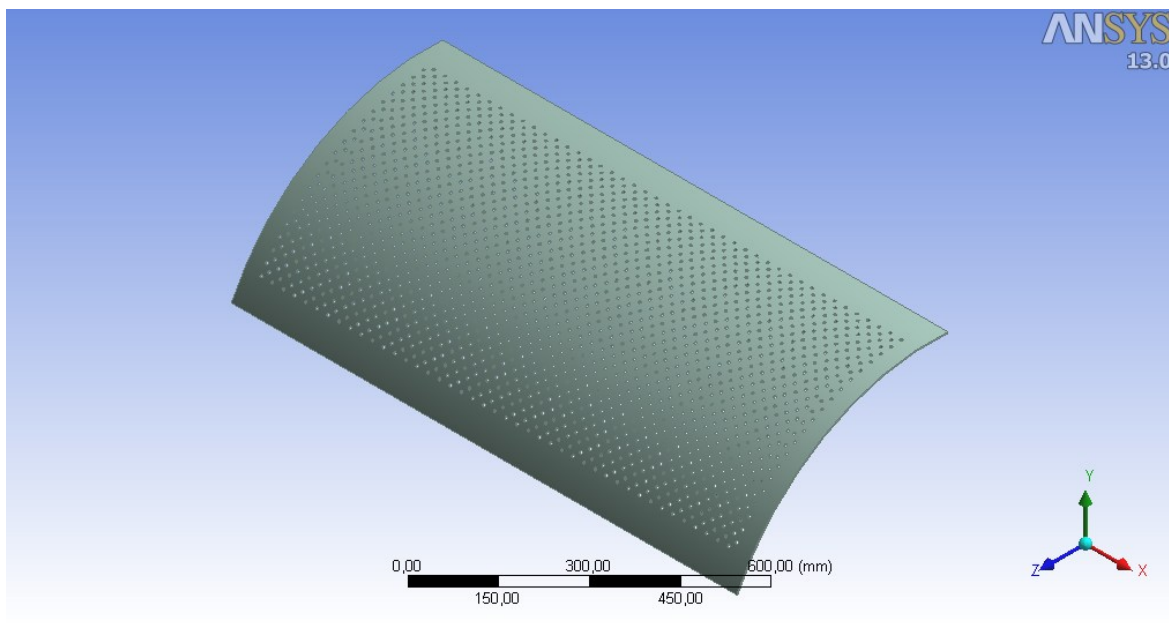


Obrázek 3-10 – Model bubnu pračky bez dvířek s kompletním děrováním po obvodu bubnu ISO pohled

3.2 Náhrada děrovaných součástí

Cílem náhrady je zjednodušení modelu. Z modelu bude odstraněno veškeré obvodové děrování i děrování na bariérách ve vnitřní části bubnu pračky, za předpokladu, že bude připuštěna chyba, kterou hodláme podstoupit z důvodu významného zkrácení doby řešení hledaného problému.

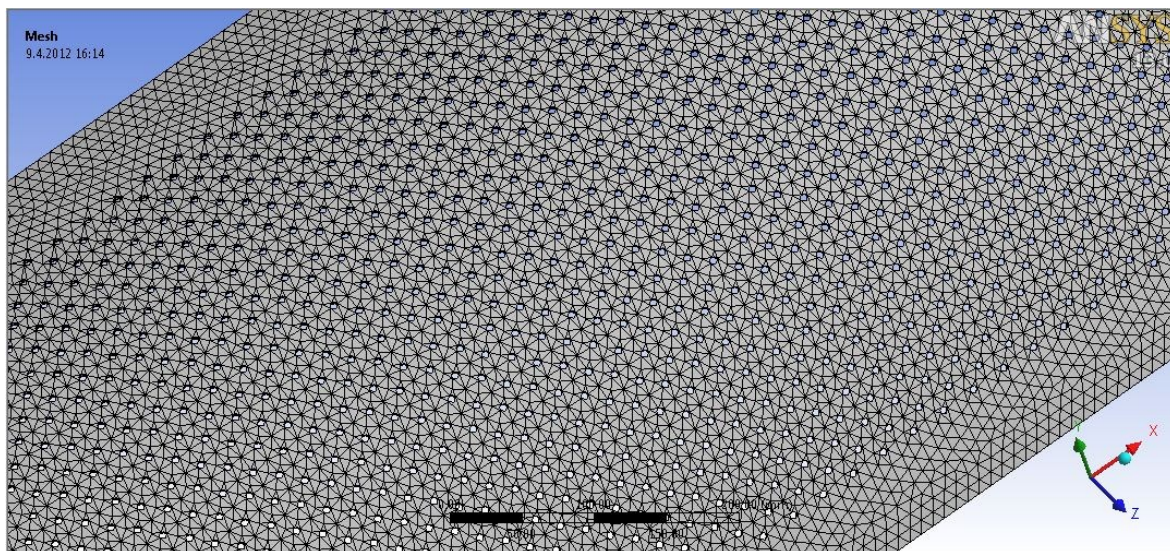
Postup je následovný. V první řadě bude vybrána součást s největším počtem děrování.



Obrázek 3-12 – Obvodová součást bubnu pračky

Následně tato součást bubnu pračky bude zatížena rotací. Odstředivou silou na součásti vznikne jistá deformace. Okrajovou podmínkou bude tedy úhlová rychlost. Dále je potřeba vymodelovat stejnou součást bez děrování a nalézt tloušťku takovou, aby se pod stejným zatížením přibližně rovnaly deformace.

Před zatížením musí být na součásti vytvořena síť. Při síťování bude zvolena velikost elementu 10 mm, v programu ANSYS Mechanical byla vygenerována síť, která je znázorněna na Obrázku 3-13. Tato síť má po celém tělese 83 202 elementů a 178 951 uzlů.

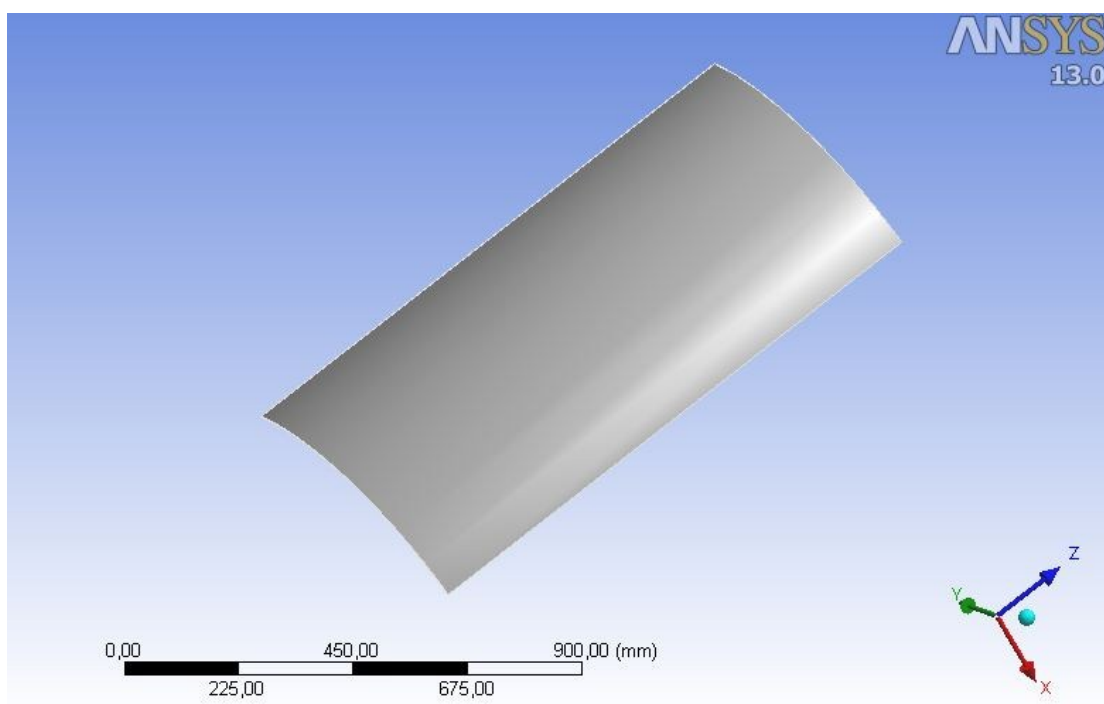


Obrázek 3-13 – Síť na nahrazované součásti

Nyní je součást připravena pro zadání okrajových podmínek, za které byly zvoleny otáčky $n = 1000$ ot/min což odpovídá úhlové rychlosti $\omega = 104,72$ rad/s a v druhé řadě vetknutí na plochy po obvodě součásti.

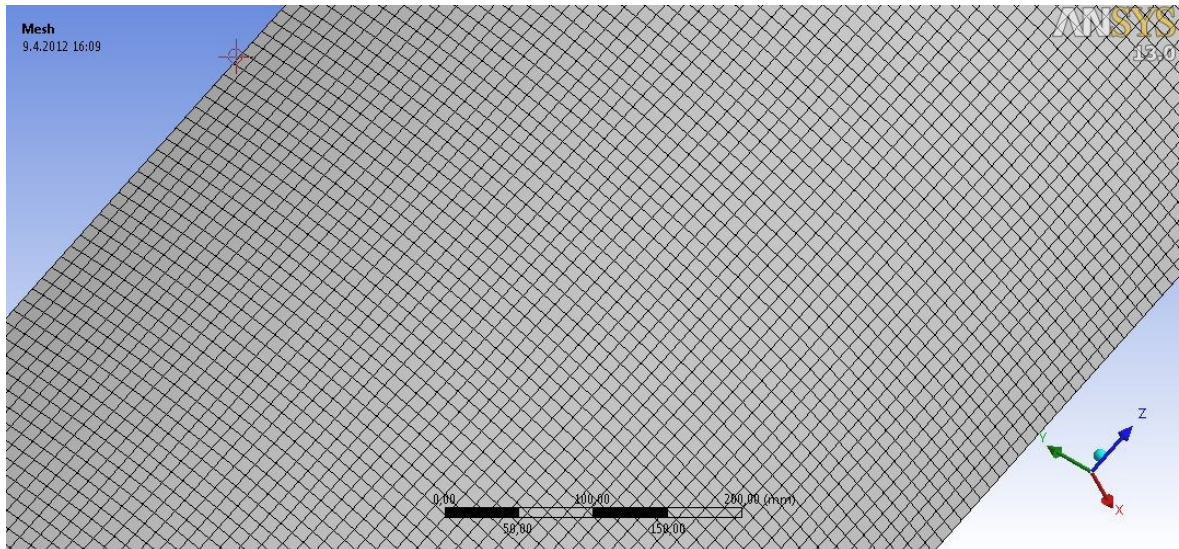
Při zatížení úhlovou rychlostí $\omega = 104,72$ rad/s na součásti vznikne deformace o velikosti 0,226 mm (viz. Obrázek 3-18) a napětí o velikosti 64,9 MPa. (viz. Obrázek 3-20)

Dále bude vymodelována součást o stejných rozměrech bez děrování.



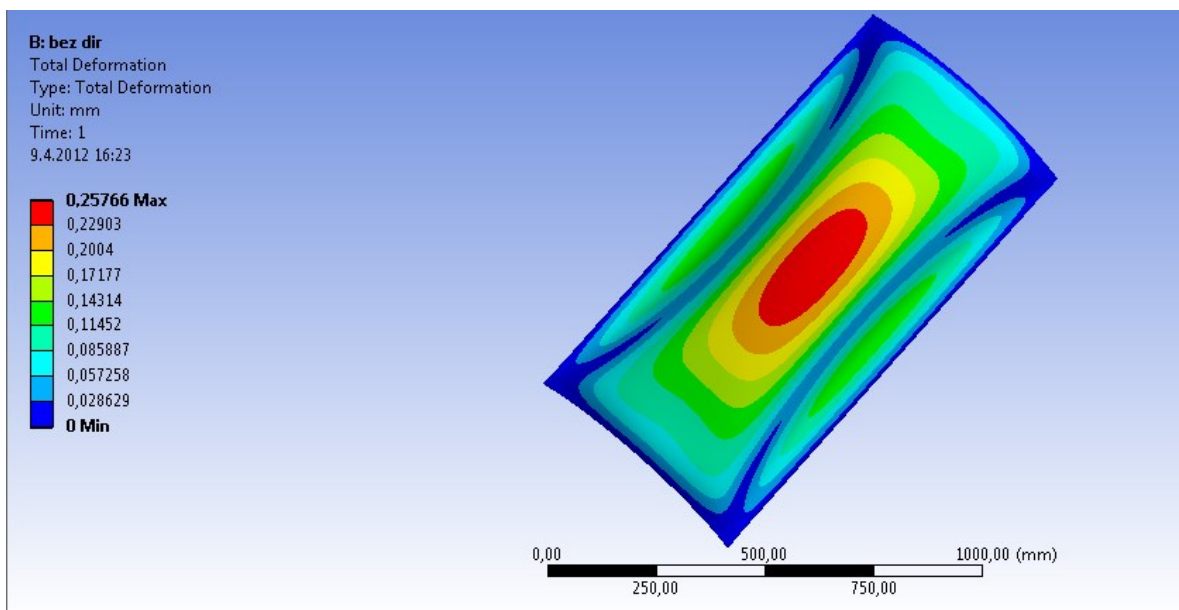
Obrázek 3-14 – Vymodelovaná náhradní součást bez děr

Na součásti před jejím zatížením musí být opět vytvořena síť. Velikost elementu bude zvolena obdobně jako u součásti nahrazované, tedy 10 mm, v programu ANSYS Mechanical byla vygenerována síť, která je znázorněna na *Obrázku 3-15*. Tato síť má po celém objemu součásti 7 198 elementů a 51 284 uzlů.

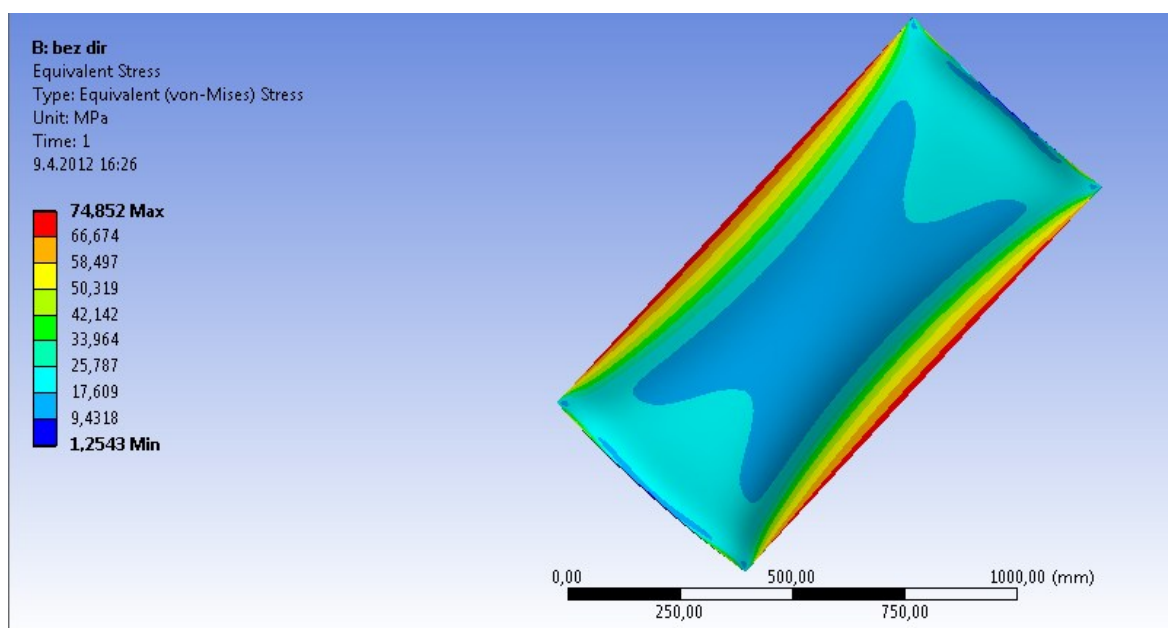


Obrázek 3-15 – síť na náhradní součásti

V dalším kroku bude součást zatížena stejnou úhlovou rychlostí, jako byla zatížena součást nahrazovaná $\omega = 104,72 \text{ rad/s}$.



Obrázek 3-16 – vykreslení deformací na součásti



Obrázek 3-17 – vykreslení napětí na součásti

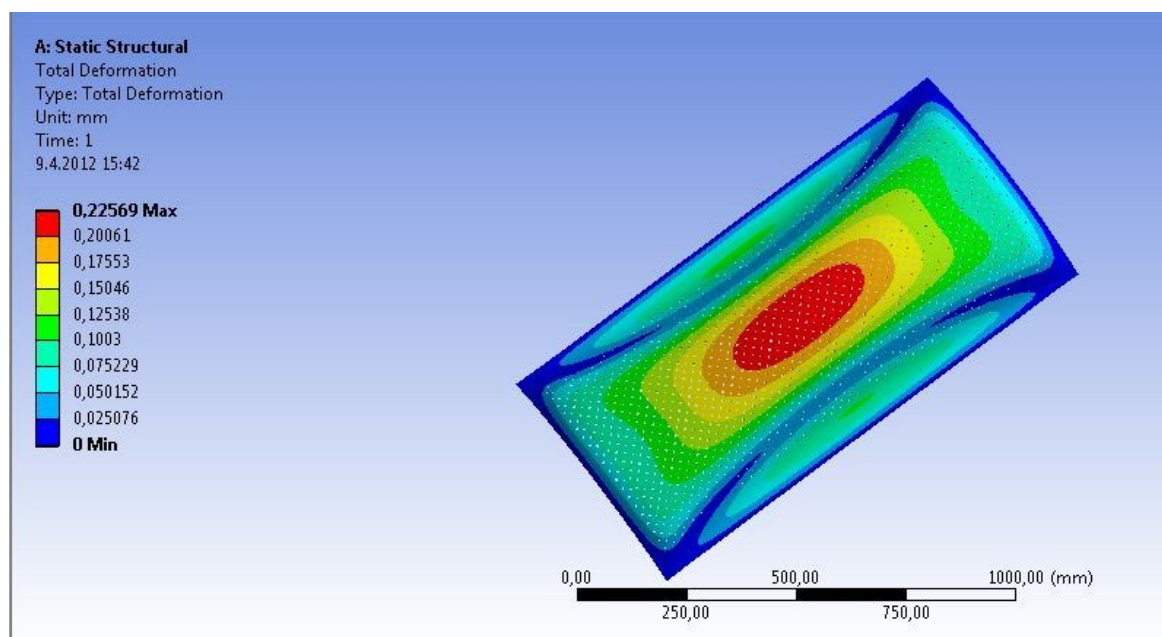
Na vytvořeném modelu bez děr, o stejných rozměrech vznikne pod stejným zatížením deformace o velikosti 0,258 mm a napětí 74,9 MPa.

Rozdíl hodnot deformací nahrazované a náhradní součásti je 0,032 mm. Pro přesnější náhradu bude snaha nalézt tloušťku součásti takovou, aby se hodnoty deformace více přiblížily. Pro přehlednost bude vytvořena tabulka, do které budou zapsány změny tloušťky součásti a jim příslušné deformace a napětí při zatížení úhlovou rychlostí $\omega = 104,72 \text{ rad/s}$, dokud nebude nalezena přibližně stejně velká hodnota deformace jako u součásti nahrazované. Hledaná hodnota deformace činí 0,226 mm

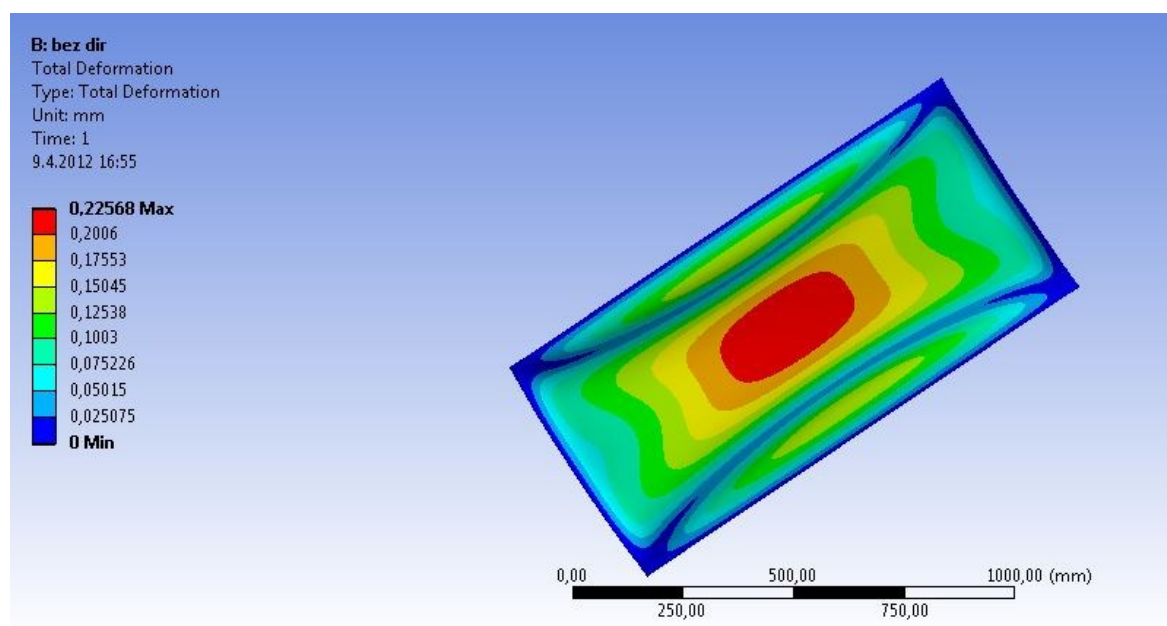
Tloušťka [mm]	Deformace [mm]	Napětí [MPa]
3	0,258	74,8
2,9	0,254	74,6
2,5	0,234	73,8
2,4	0,228	73,7
2,37	0,225	73,7
2,373	0,226	73,7

Součást s děrováním bude nahrazena součástí bez děr o tloušťce 2,373 mm, která má pod zatížením 1000 ot/min maximální deformaci 0,226 mm a napětí 73,7 MPa.

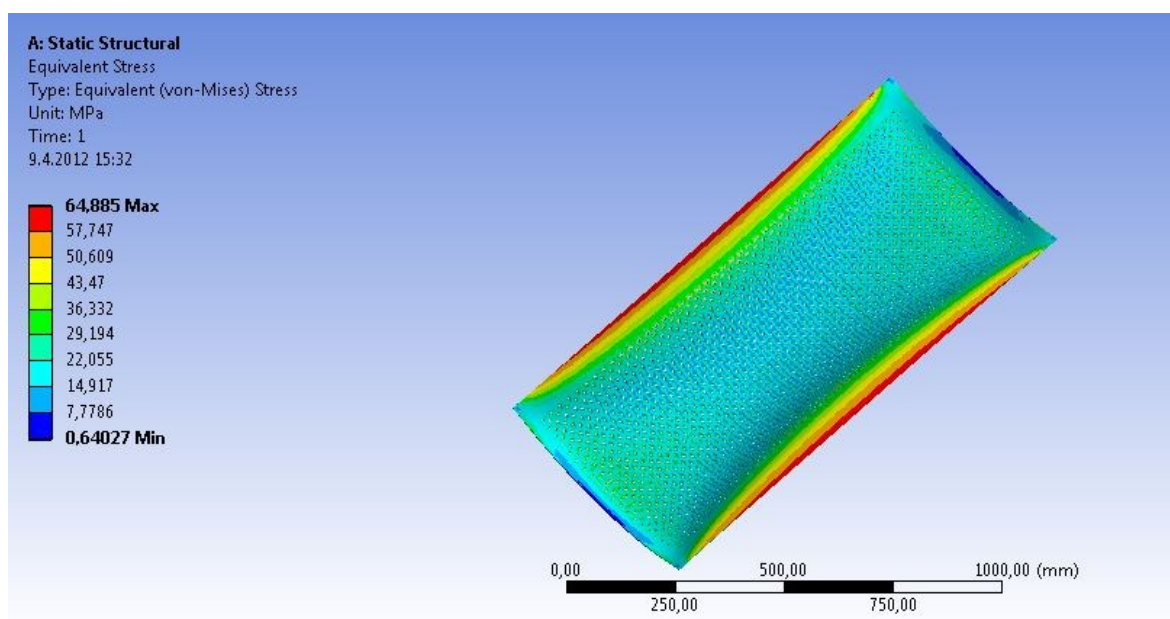
Porovnání napětí a deformací nahrazované a náhradní součásti:



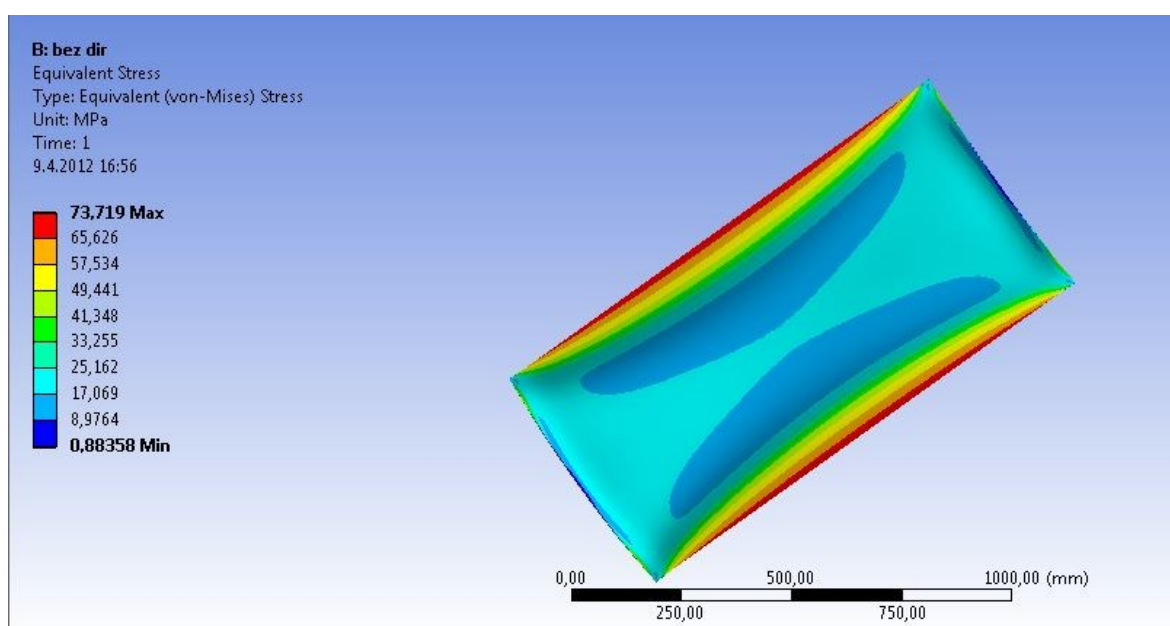
Obrázek 3-18 – vykreslení deformací nahrazované součásti



Obrázek 3-19 – vykreslení deformací náhradní součásti

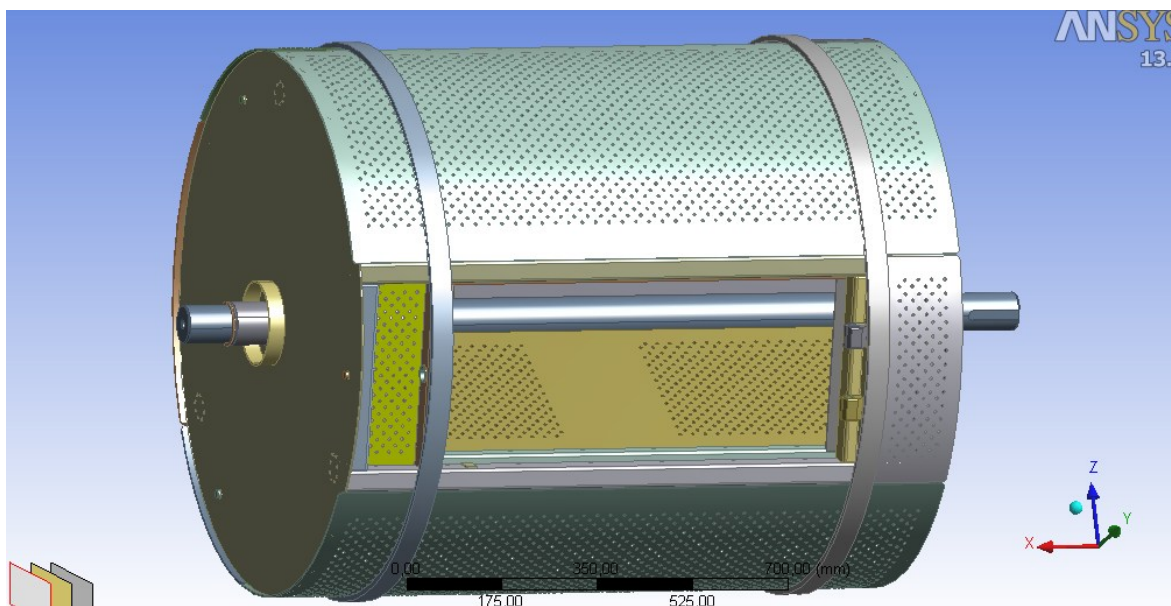


Obrázek 3-20 – vykreslení napětí na nahrazované součásti

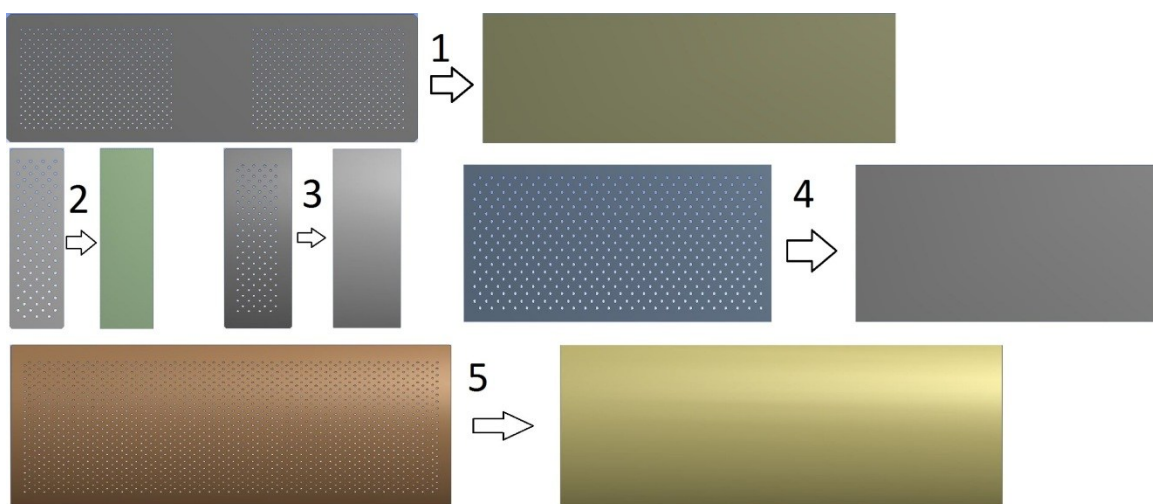


Obrázek 3-21 – vykreslení napětí na náhradní součásti

Byla nalezena součást bez děr s menší tloušťkou, která se při zatížení chová přibližně stejně, jako součást kterou je potřeba nahradit, přitom počet stupňů volnosti je o cca 70% nižší než u původní součásti. V dalším kroku budou nahrazeny všechny obvodové děrované součásti, děrované bariéry ve vnitřní části bubnu pračky, malé děrované součásti skryté pod malou obvodovou děrovanou součástí (viz. *Obrázek 3-22*) i děrované rovné součásti ve dvířkách bubnu pračky, součástmi bez děr o tloušťce 2,373 mm



Obrázek 3-22 – zobrazení děrovaných částí bubnu

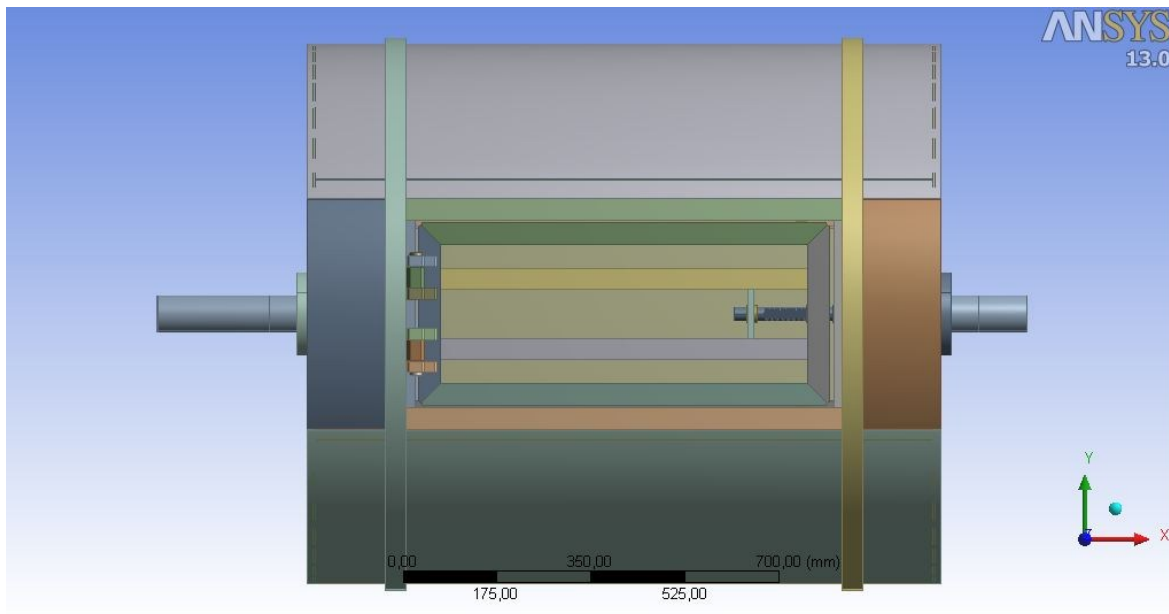


Obrázek 3-23 - Redukce

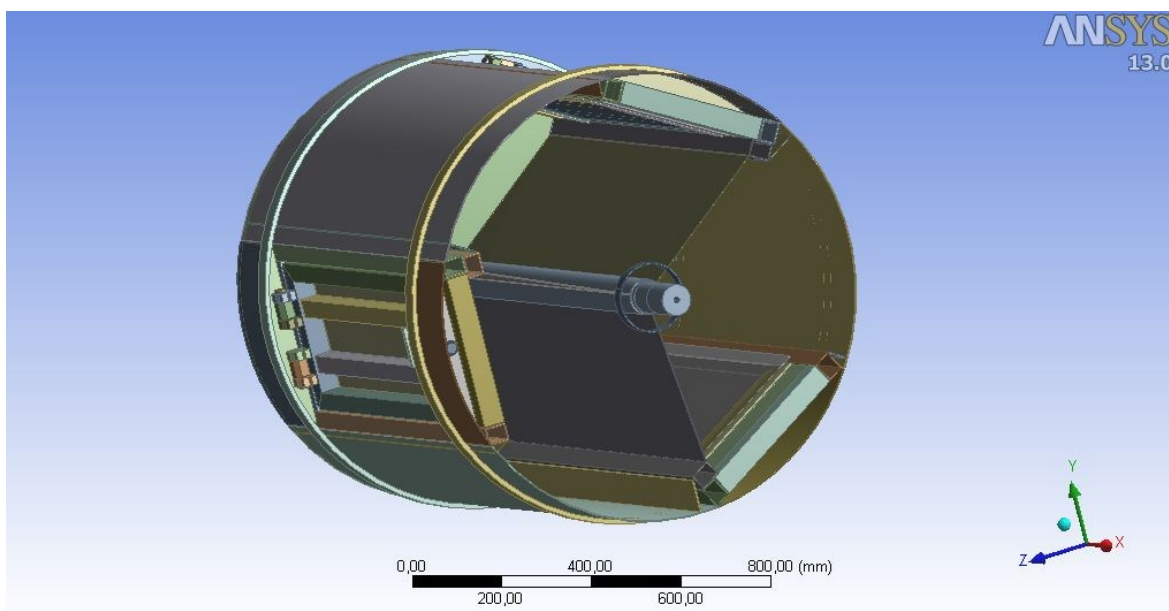
1. Bariéry z vnitřní části bubnu pračky
2. Destička (viz. Obrázek 3-2-11)
3. Malá obvodová součást bubnu pračky
4. Deska z dvířek bubnu pračky
5. Velká obvodová součást bubnu pračky

3.3 Modelování náplně

Po nahrazení součástí uvedených výše a provedení všech úprav na modelu bubnu pračky i na modelu dvířek bubnu pračky zmíněných v kapitole 3.1 je potřeba oba modely sjednotit v jeden a získat tak model bubnu průmyslové pračky hygienické bez náplně.



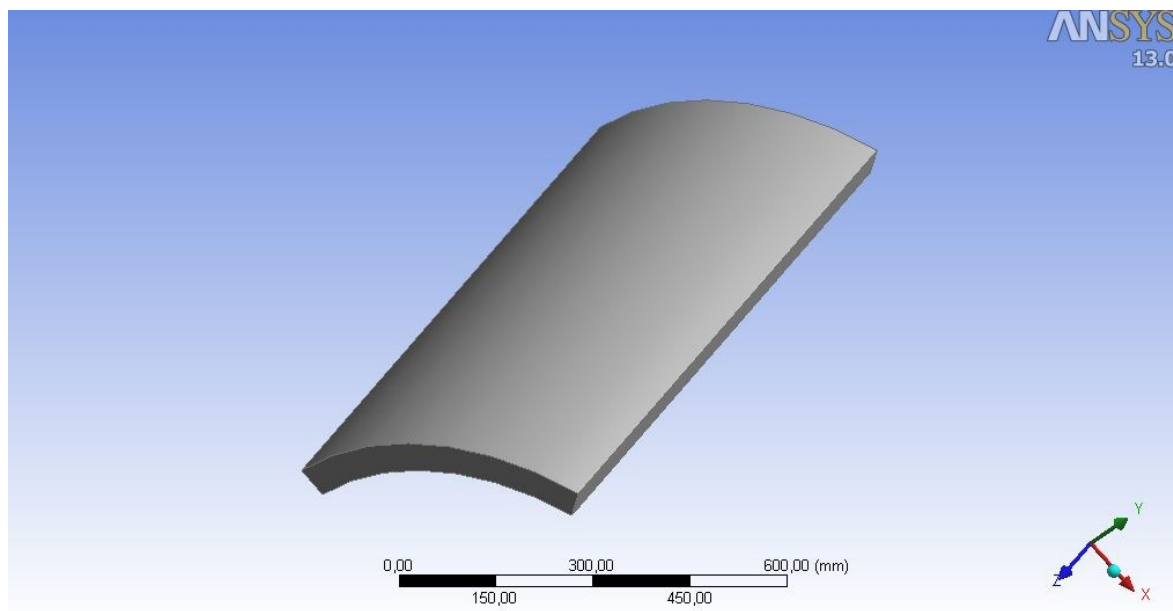
Obrázek 3-24 – Model bubnu pračky po dokončení úprav



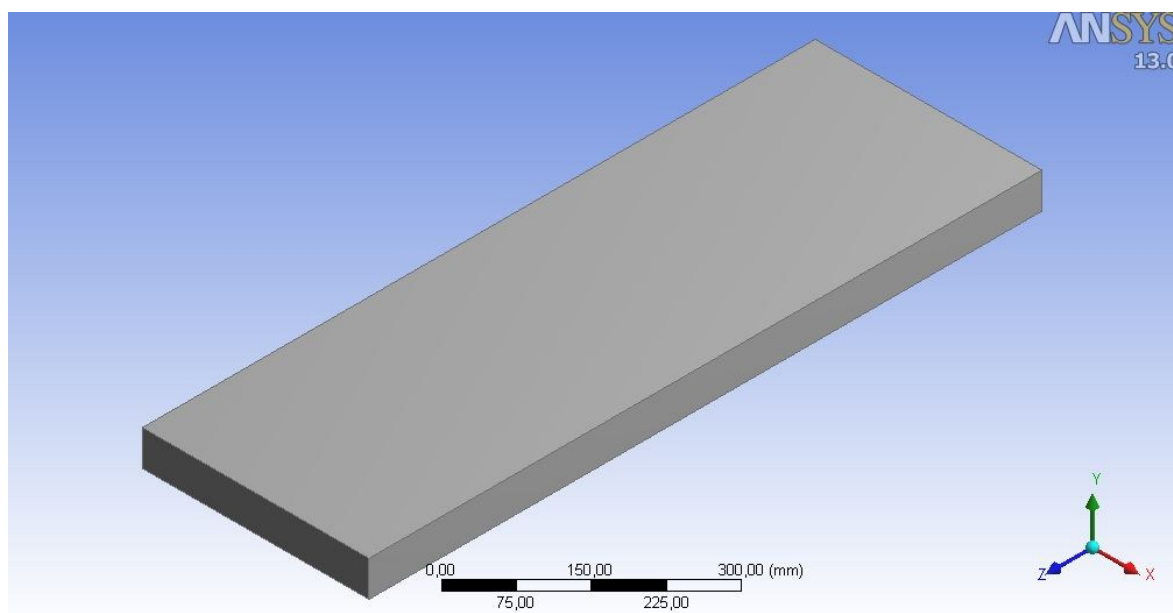
Obrázek 3-25 - Model bubnu pračky po dokončení úprav ISO pohled

V poslední řadě přijde modelování náplně. Jelikož se reálné prádlo chová nepředvídatelně a při opakovaném praní mění svůj tvar i polohu, není možné na tvar a

polohu modelu náplně klást velký důraz. Dá se jen předvídat, že při rotaci působí odstředivá síla, která způsobí, že se prádlo nalepí na vnitřní plochy po obvodu bubnu pračky. Aby bylo možno zaplnit celý prostor obvodu bubnu náplní, budou vymodelovány dva různé tvary náplní.

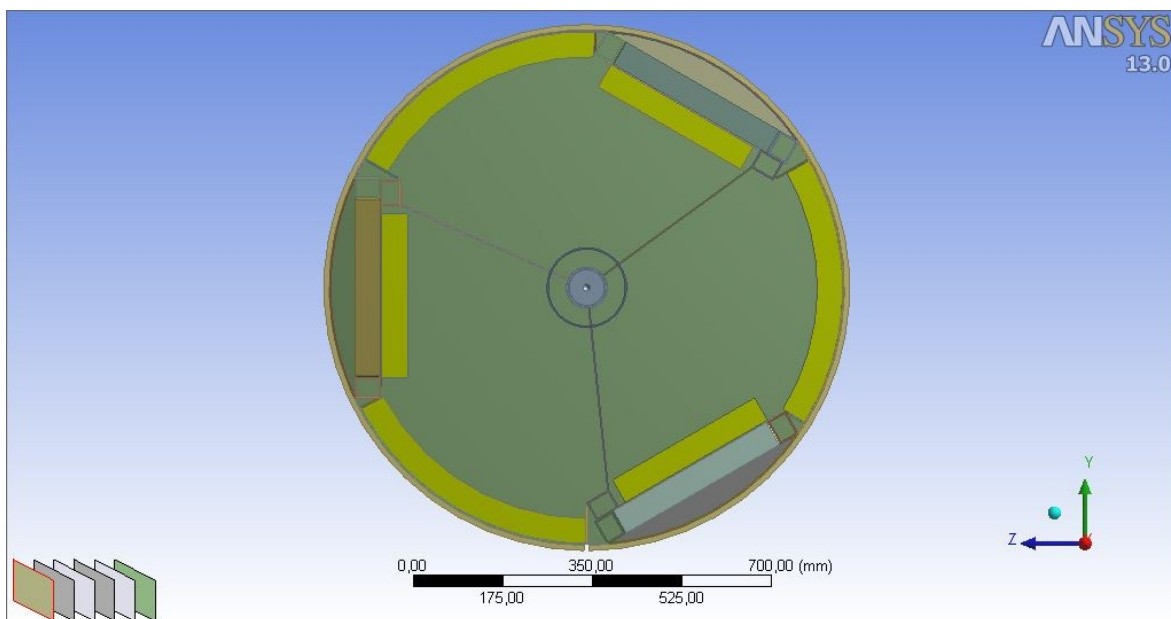


Obrázek 3-26 – Model náplně – první tvar

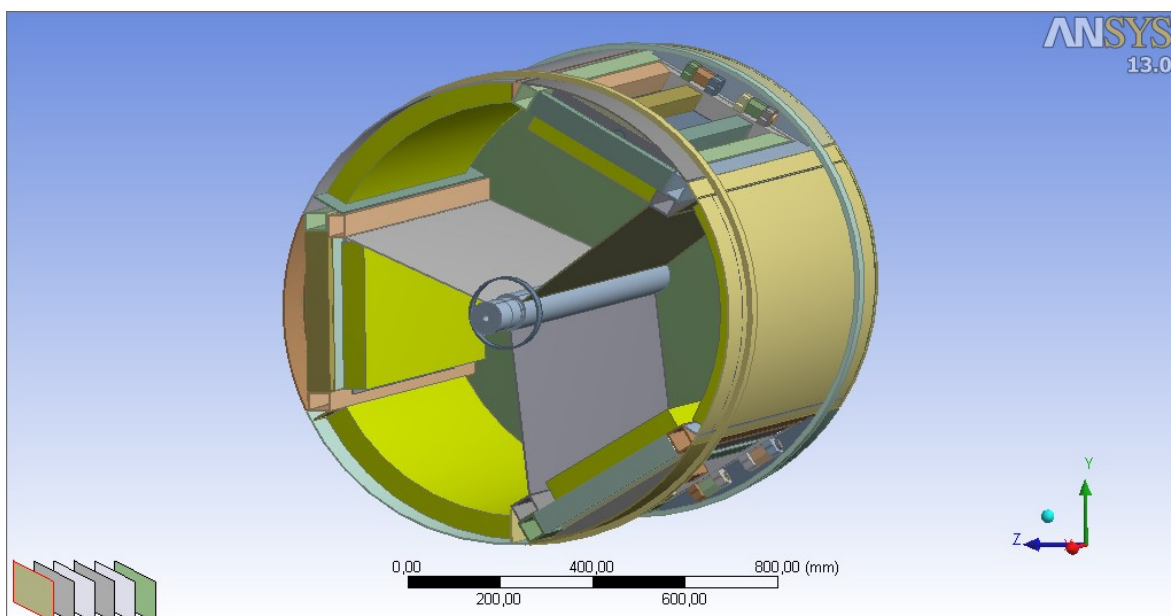


Obrázek 3-27 – Model náplně – druhý tvar

Tyto náplně je potřeba vložit do vnitřní části bubnu pračky.



Obrázek 3-28 – Buben pračky s náplní



Obrázek 3-29 – Buben pračky s náplní ISO pohled

Po vložení náplně do bubnu pračky jsou připraveny modely bubnu průmyslové pračky hygienické s náplní i bez náplně, pro síťování, zadávání okrajových podmínek apod.

3.4 Materiál bubnu pračky a náplně

Buben automatické průmyslové pračky MB 90 je zhotoven z oceli **17 240**.

Modul pružnosti E	$2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$
Poissonovo číslo μ	0,3
Hustota ρ	7900 kg/m^3
Mez kluzu τ_B	225 MPa
Mez pevnosti τ_C	500 MPa

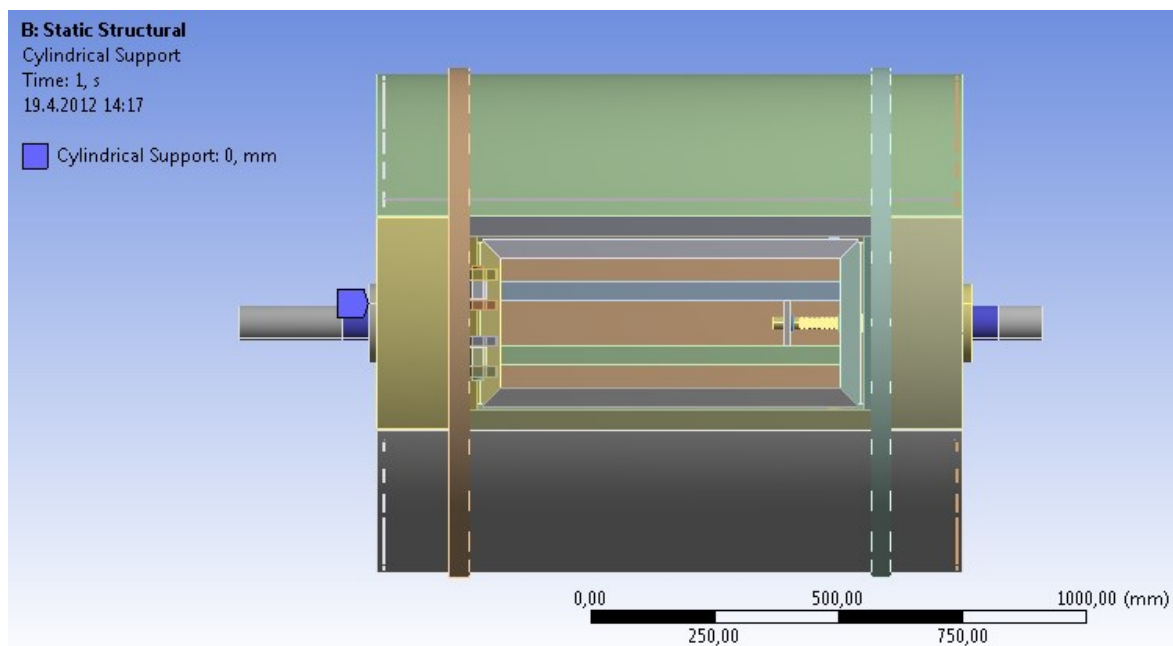
Náplň je vytvořena z „fiktivního“ materiálu, kterému bude nadefinován modul pružnosti tak malý, až se bude chovat jako „mokrý houba“. Dále je potřeba změnit hustotu materiálu náplně podle objemu tak, aby vážila jako požadovaná hmotnost náplně, která činí 144 kg. Proto pro materiál náplně zvolíme tyto hodnoty:

Modul pružnosti E	2,1 MPa
Poissonovo číslo μ	0,3
Hustota ρ	$1217,7 \text{ kg/m}^3$

4 Okrajové podmínky

Kapitola zahrnuje zadávání okrajových podmínek pro řešení napěťově – deformační analýzy bubnu automatické pračky.

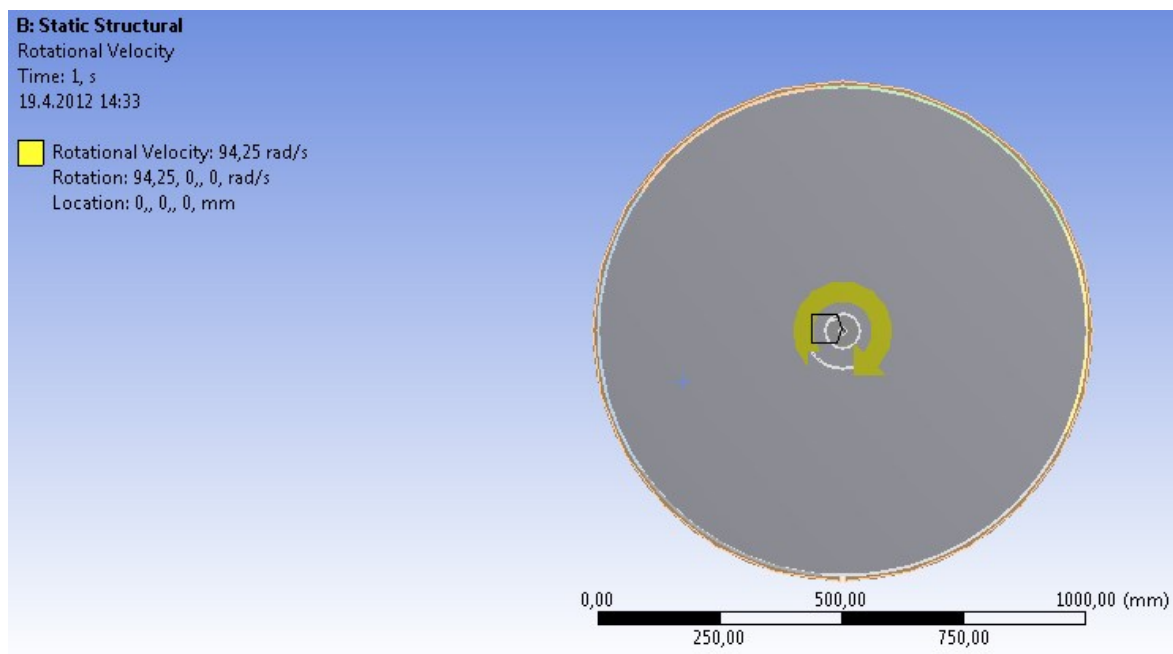
Okrajových podmínek na modelu bubnu průmyslové pračky není mnoho, jelikož hřídel bubnu pračky je uložena v ložiskách a koná pouze rotační pohyb kolem své osy. V první řadě bude zavedena okrajová podmínka pro uložení hřídele v ložiskách. Pro ložiska byly již při úpravách modelu nachystány plochy na hřídeli (viz. *Obrázek 3-8*), na kterých budou zavedeny tzv. válcové podpory.



Obrázek 4-1 – Ložiska

Na těchto plochách označených modře jsou zavedeny okrajové podmínky pro nahrazení ložisek.

V druhé řadě bude věnována pozornost zatěžující síle. Program ANSYS 13.0 obsahuje funkci, pomocí které se zatížení zadá přímo jako úhlová rychlost. Rotovat kolem osy bubnu pračky budou všechna tělesa, ze kterých se buben pračky skládá, proto pro rotaci kolem osy bubnu pračky budou vybrána všechna tělesa modelu. V praxi se bude buben pračky pohybovat maximálně otáčkami $n = 800$ ot/min, což je pro úhlovou rychlost $\omega = 83,78$ rad/s. Pro výpočet buben pračky zatížíme dle požadavku zadavatele otáčkami $n = 900$ ot/min, které jsou rovny úhlové rychlosti $\omega = 94,25$ rad/s.



Obrázek 4-2 – zatížení rotací

Pro hledané řešení problému, tyto okrajové podmínky stačí pro definování uchycení a pohybu modelu.

5 Síť a kontakty

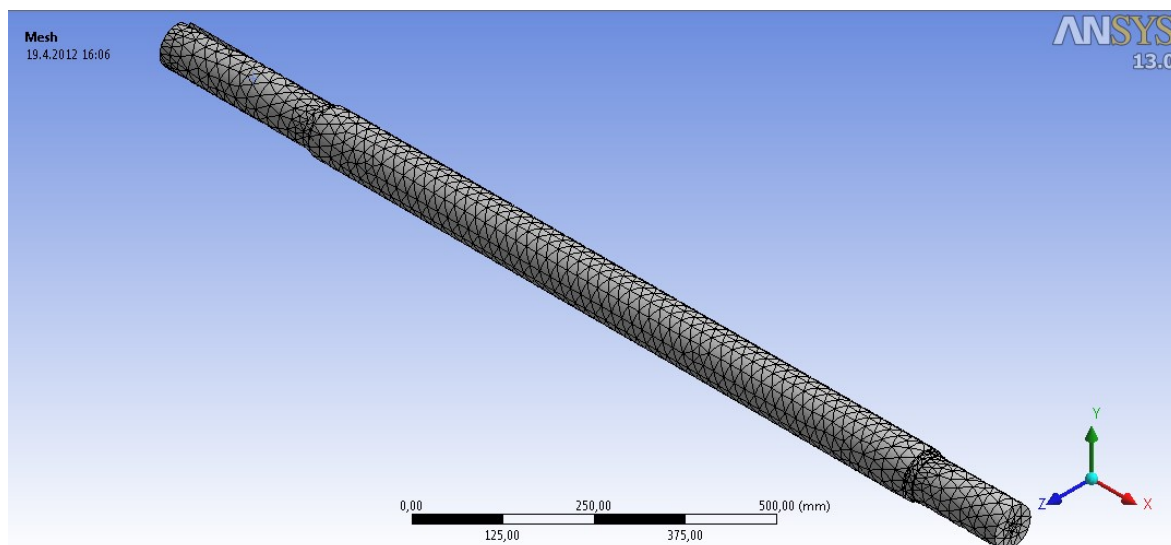
Jak bylo již uvedeno, úloha bude řešena pomocí metody konečných prvků, která vychází z výpočtového neboli konečnoprvkového modelu. Kapitola Síť a kontakty se bude zabývat převedením modelu na konečnoprvkový a současně řešení kontaktů mezi součástmi.

Na model je „natáhnuta“ síť, která každou součást rozdělí na konečný počet prvků a pro každý tento prvek bude samostatně sestavena pohybová rovnice, z níž dostaneme výsledné řešení. Pro vytvoření sítě bylo použito několik druhů prvků, které se liší jak velikostí a tvarem tak i oblastí jejich použitelnosti.

Jelikož se buben pračky skládá s více než 150ti částí, budou mezi součástmi se vzájemným dotykem vkládány kontakty bonded tzv. slepení. Ve skutečnosti nám tyto kontakty Ansys automaticky vytvoří, ale spousta kontaktů zde chybí a taky spousta kontaktů je zde navíc.

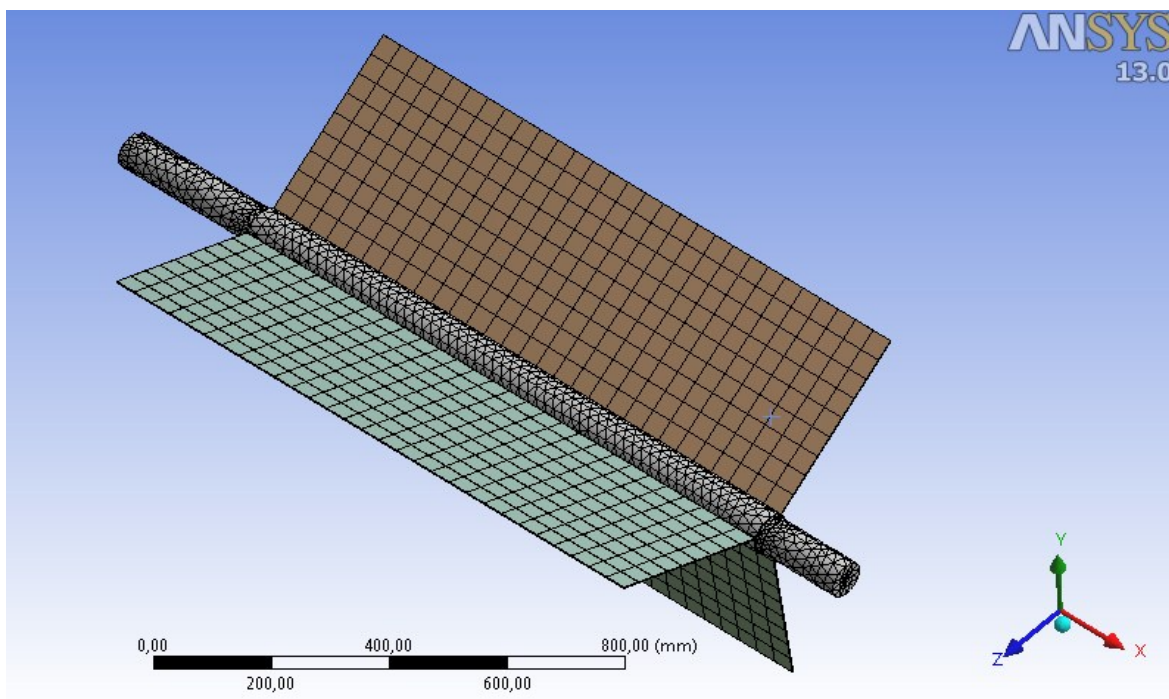
Aby nabylo zapomenuto na žádné kontakty a dále aby byla možnost pečlivého prohlédnutí sítě každého tělesa, postup bude následovný.

V první řadě bude zobrazena pouze hřídel bubnu pračky a na ní vytvořena síť.



Obrázek 5-1 – síť na hřídeli

Další budou zobrazeny bariéry z vnitřní části bubnu pračky. Dále přichází na řadu kontrola kontaktů mezi těmito bariérami a hřídelí bubnu pračky. Kontakty, které jsou navíc, budou odstraněny a kontakty které chybí, budou vytvořeny. V další řadě bude vytvořena síť na těchto bariérách.

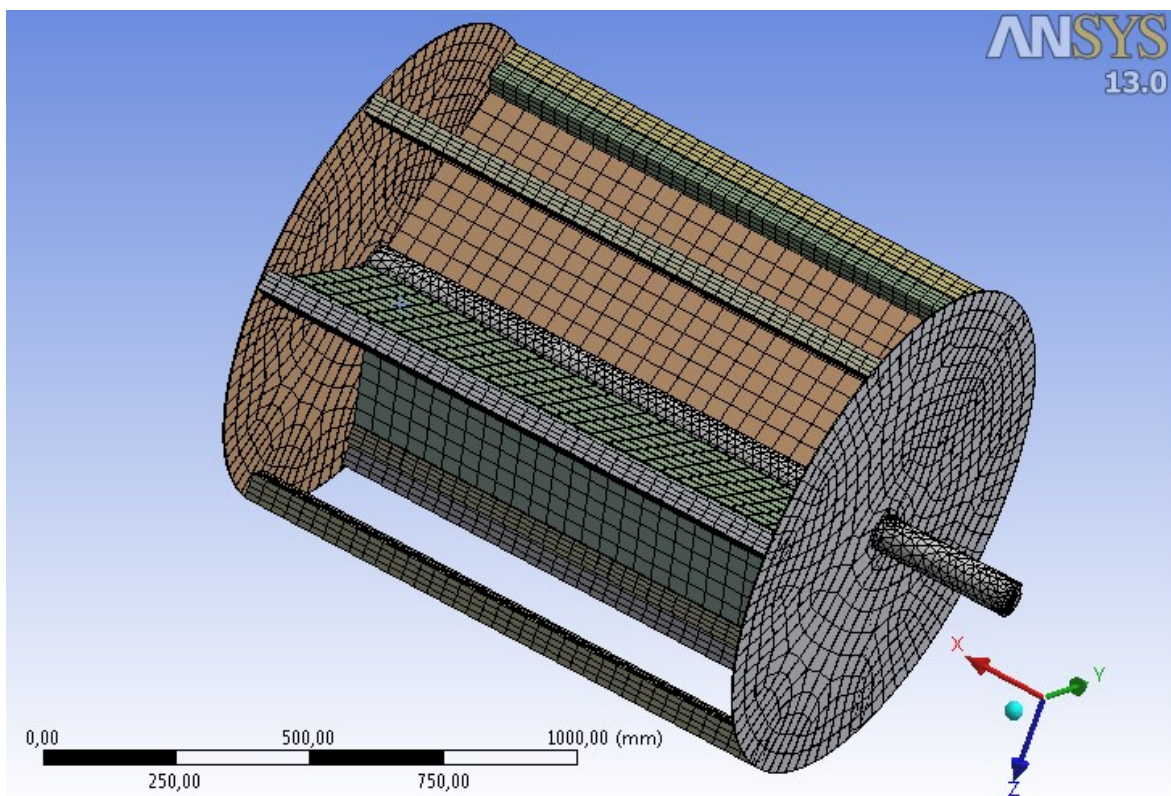


Obrázek 5-2 – pokračování ve vytváření sítě

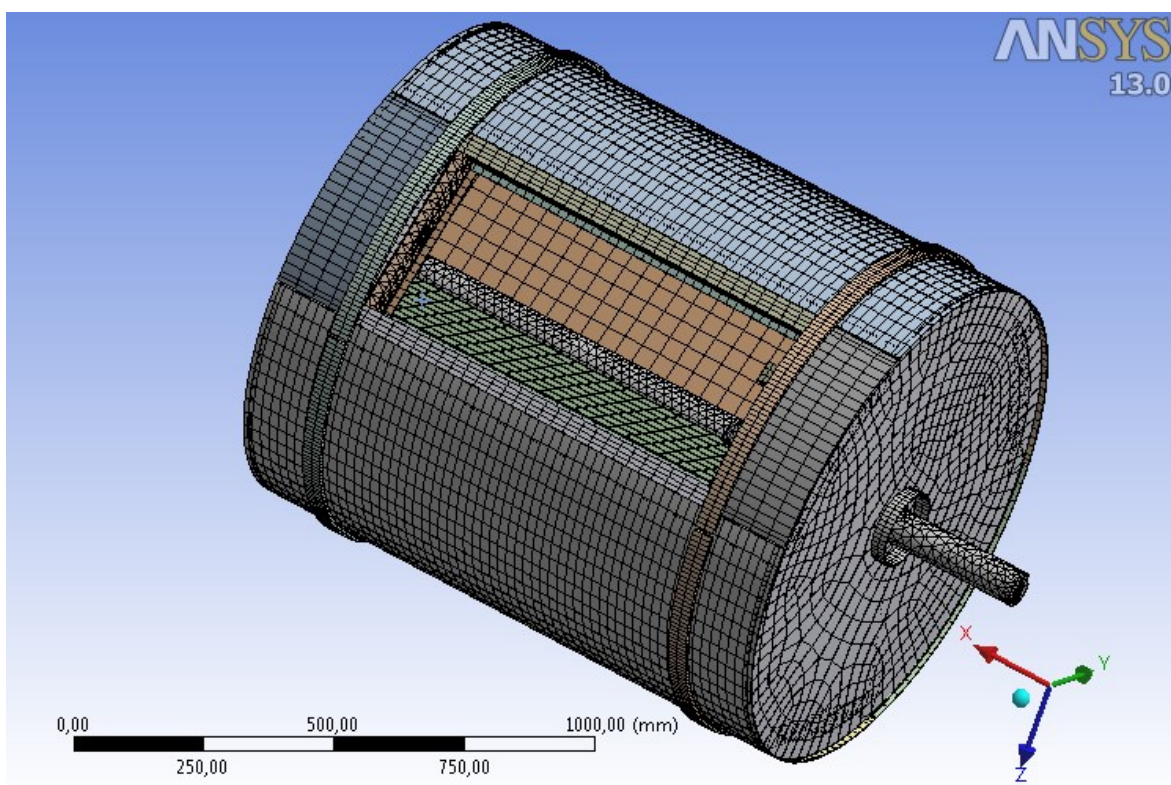
Jelikož výsledky často odhalí chyby, je možno pro kontrolu, po ukončení síťování a kontroly kontaktu každé části, před vložením další, model spočíst a dle výsledků zkontrolovat zda jsou všechny kontakty správně definované. Když například některé kontakty chybí, může se stát, že výsledky nebudou vůbec dopočteny, jelikož některá součást „odletí“.

Při síťování součástí, je zvolena velikost jednotlivých elementů s ohledem na velikost součásti a místem jejího výskytu.

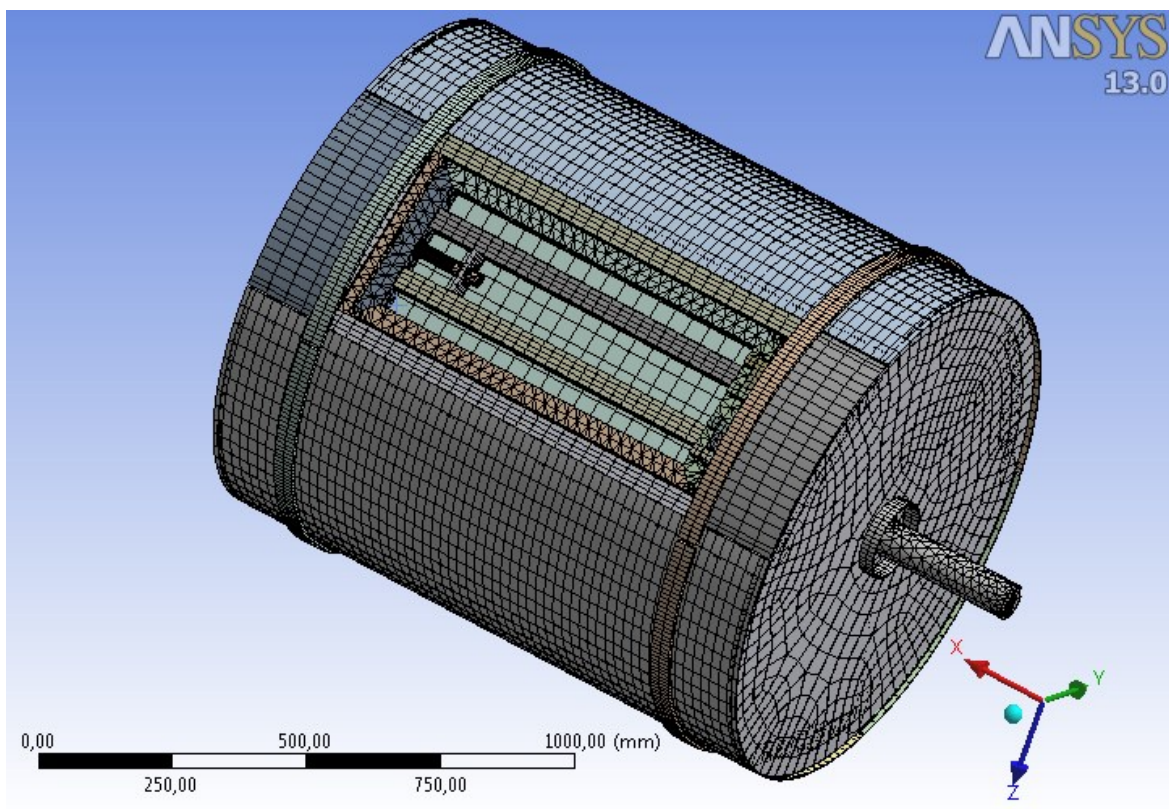
Tímto postupem pokračujeme, dokud nebude celý model převeden na konečnoprvkový.



Obrázek 5-3 - Vytváření sítě



Obrázek 5-4 - síť na celém bubnu pračky bez dvířek

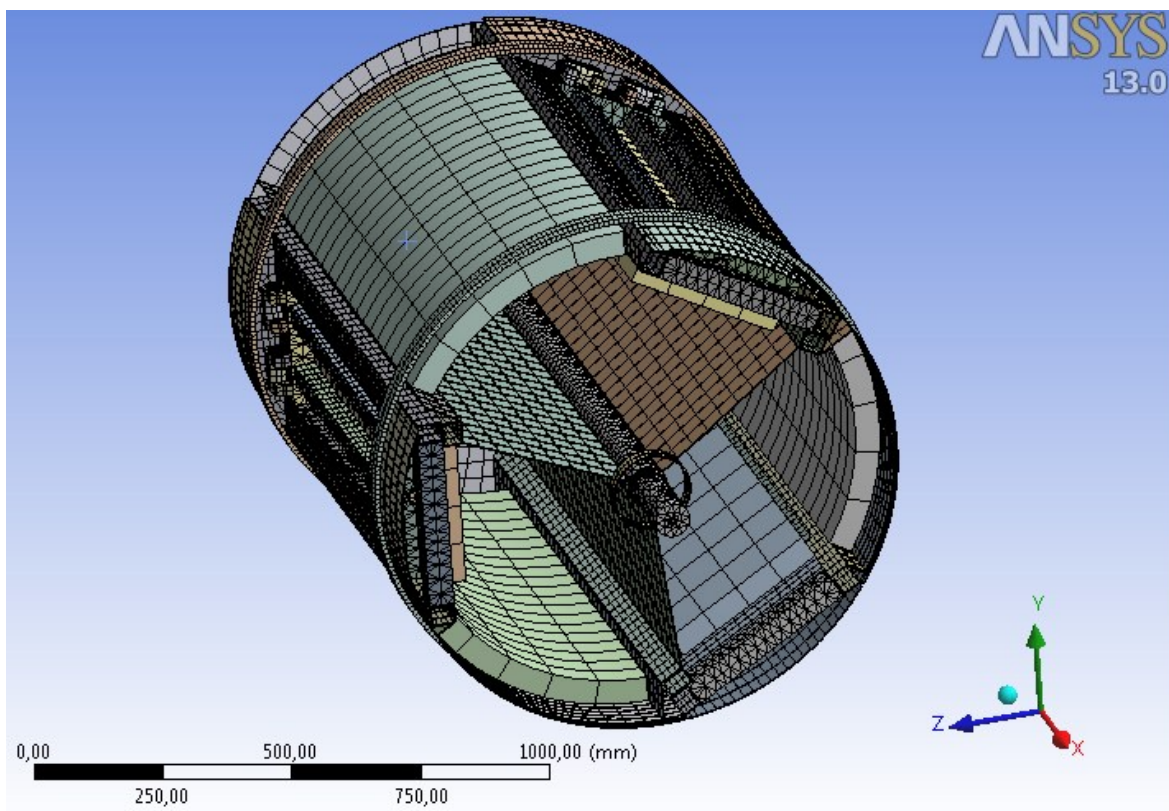


Obrázek 5-5 - síť na celém bubnu pračky

Na celém bubnu průmyslové hygienické pračky (viz. *Obrázek 5-4*) byla vytvořena síť, která obsahuje 75 715 elementů a 263 955 uzlů.

Nyní jsou na model aplikovány veškeré okrajové podmínky a model je převeden na konečnoprvkový, tím je připraven na napěťově – deformační analýzu bubnu automatické průmyslové pračky bez náplně.

V poslední řadě bude připravena síť na náplni pro napěťově – deformační analýzu bubnu automatické pračky s náplní. Náplň je vložena pouze jako zátěž nahrazující prádlo a proto není třeba klást velký důraz na kvalitu sítě náplně.



Obrázek 5-6 - síť na celém bubnu pračky s odstraněním viditelnosti obvodové části a bočnice bubnu pračky pro lepší viditelnost sítě na náplni

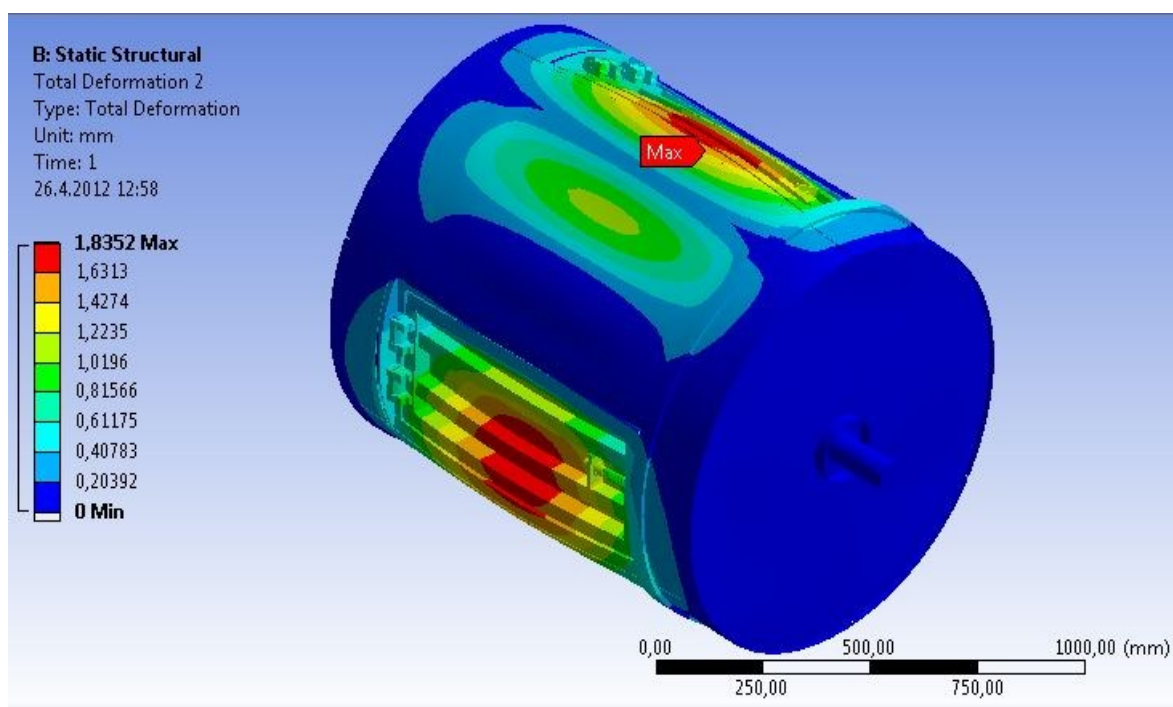
Po vytvoření sítě na náplni jsou připraveny modely bubnu automatické průmyslové pračky s náplní i bez náplně. V následujících krocích bude provedena napěťově – deformační analýza bubnu automatické pračky.

6 Výsledky napěťově – deformační analýzy

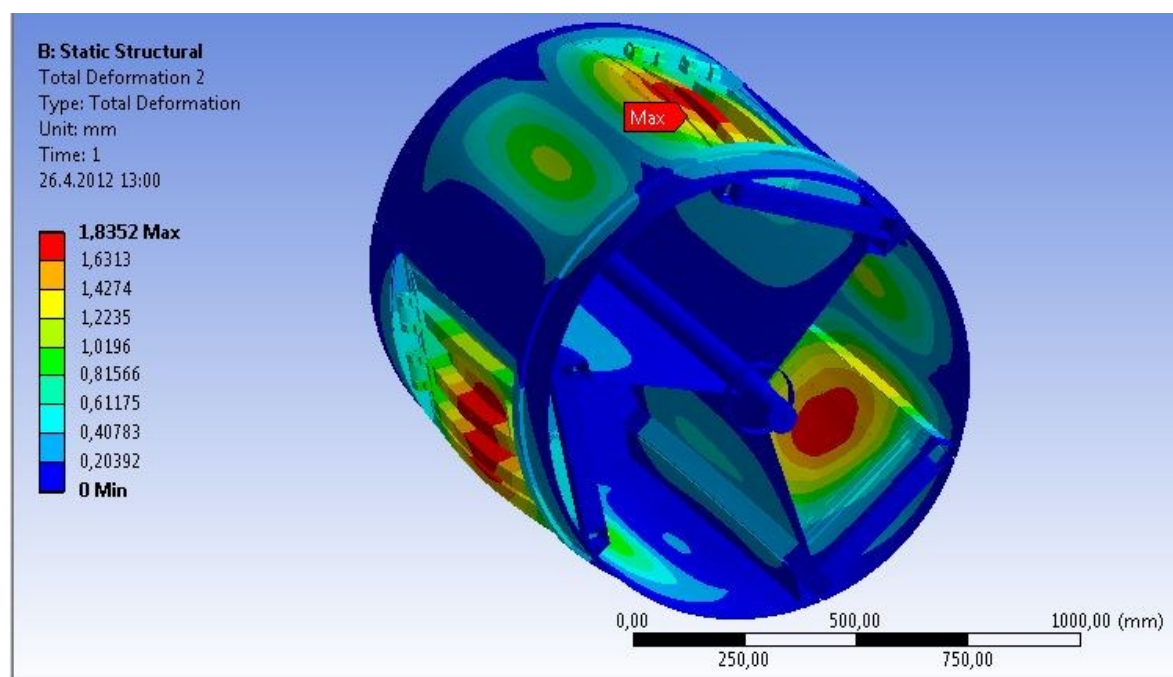
Tato kapitola se zabývá výsledky napěťově – deformační analýzy automatické průmyslové pračky. První podkapitola se bude zabývat výsledky napěťově – deformační analýzy bubnu automatické pračky bez náplně, v další podkapitole bude věnována pozornost výsledkům napěťově - deformační analýzy bubnu automatické pračky s náplní.

6.1 Výsledky napěťově – deformační analýzy bez náplně

Napěťově - deformační analýza bubnu automatické pračky bez náplně se zabývá zkoumáním napětí a deformací bubnu pračky, kde buben pračky je bez náplně (bez uvažování prádla). Buben pračky rotuje okolo své osy otáčkami $n = 900$ ot/min.

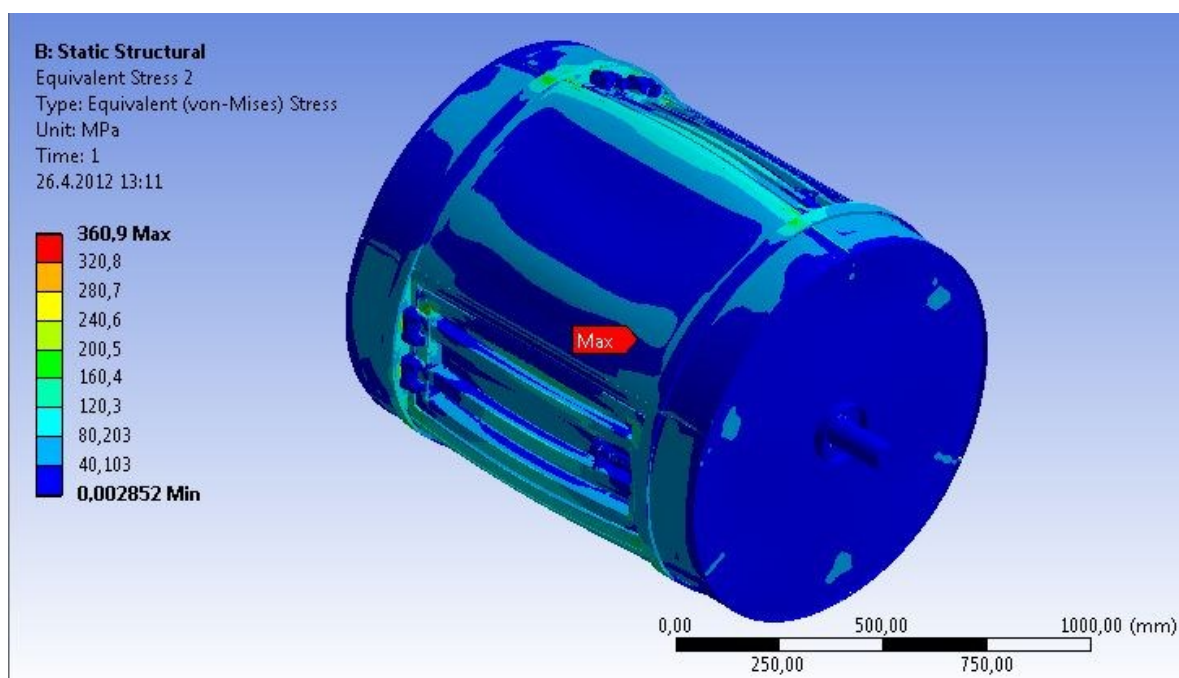


Obrázek 6-1 - Vykreslení deformací

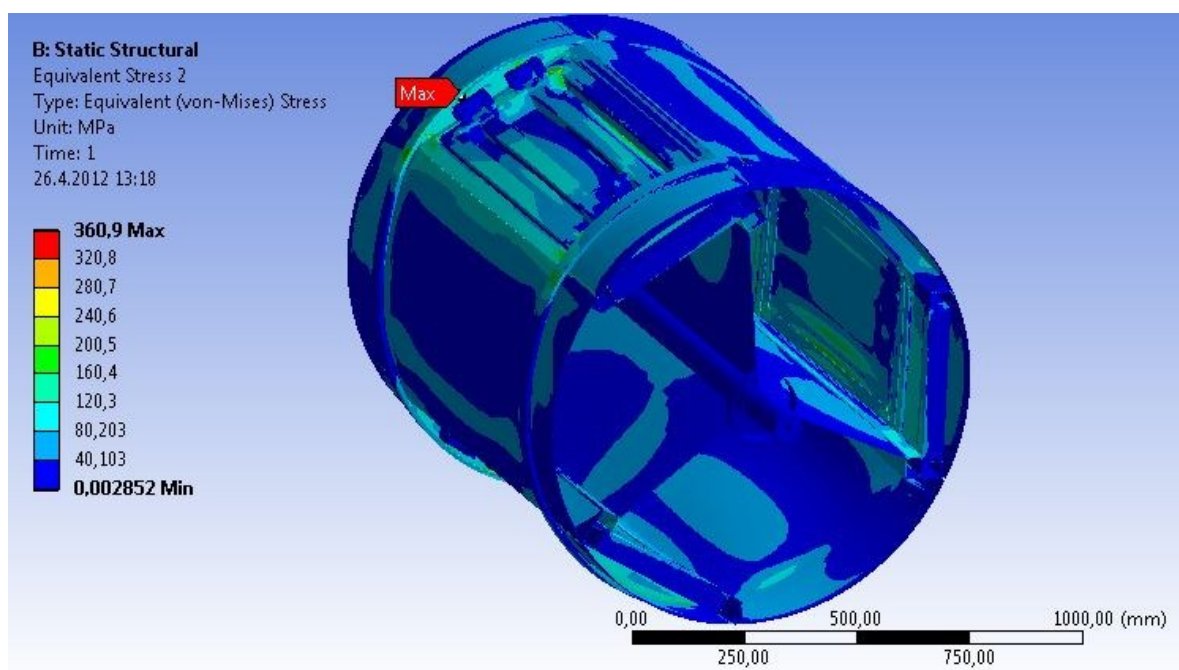


Obrázek 6-2 - Vykreslení deformací, pohled i do vnitřní části bubnu

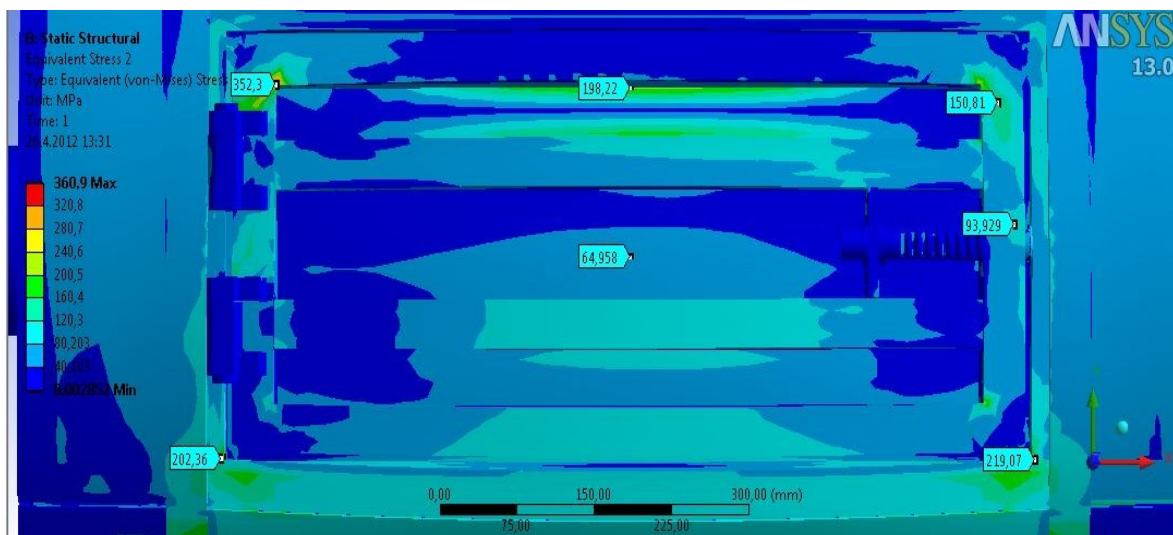
Maximální deformace se nachází zhruba uprostřed délky bubnu pračky, na obvodu bubnu, konkrétně na dvířkách bubnu automatické průmyslové pračky. Tato největší deformace je rovna 1,84 mm.



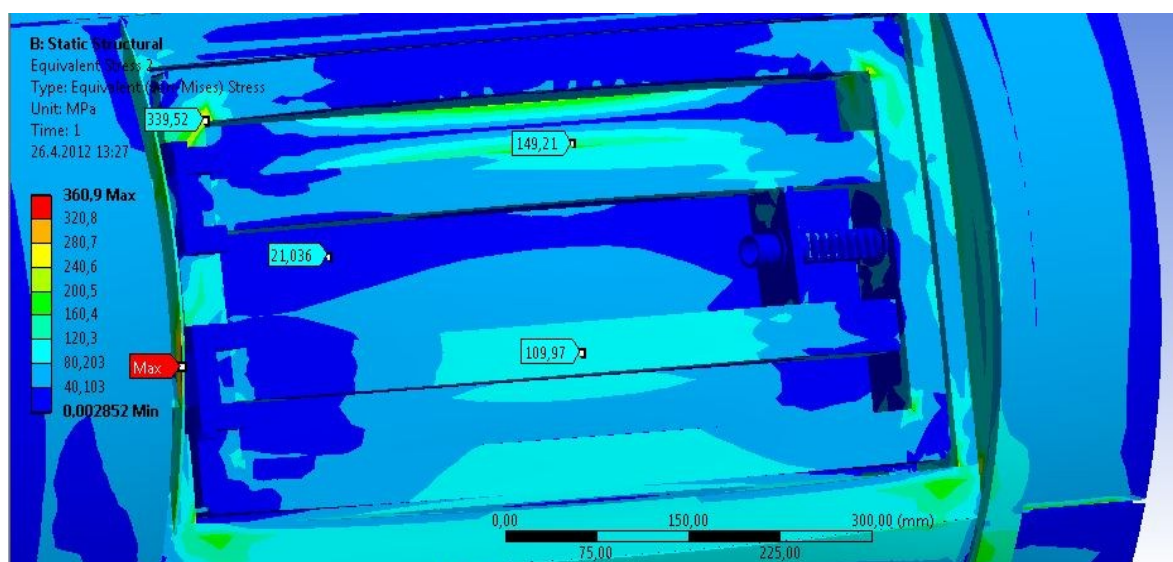
Obrázek 6-3 – Vykreslení napětí



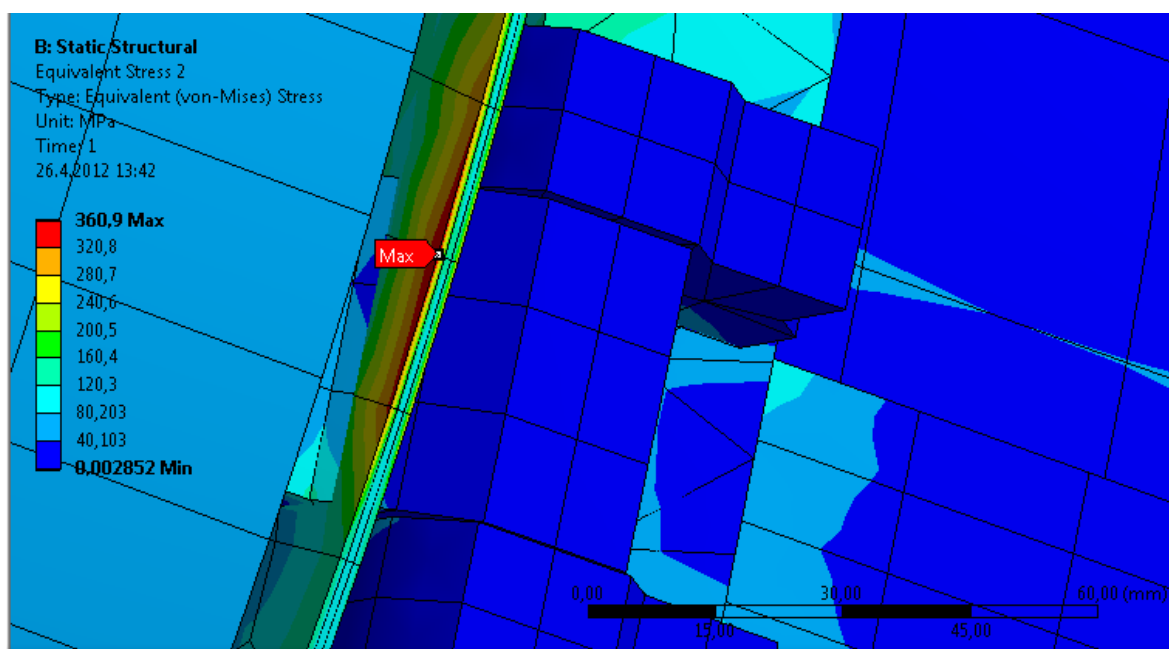
Obrázek 6-4 – Vykreslení napětí, pohled do vnitřní části bubnu



Obrázek 6-5 – Vykreslení napětí na dvířkách bubnu pračky



Obrázek 6-6 – Vykreslení napětí, pohled na dvířka bubnu pračky i na místo s maximálním napětím

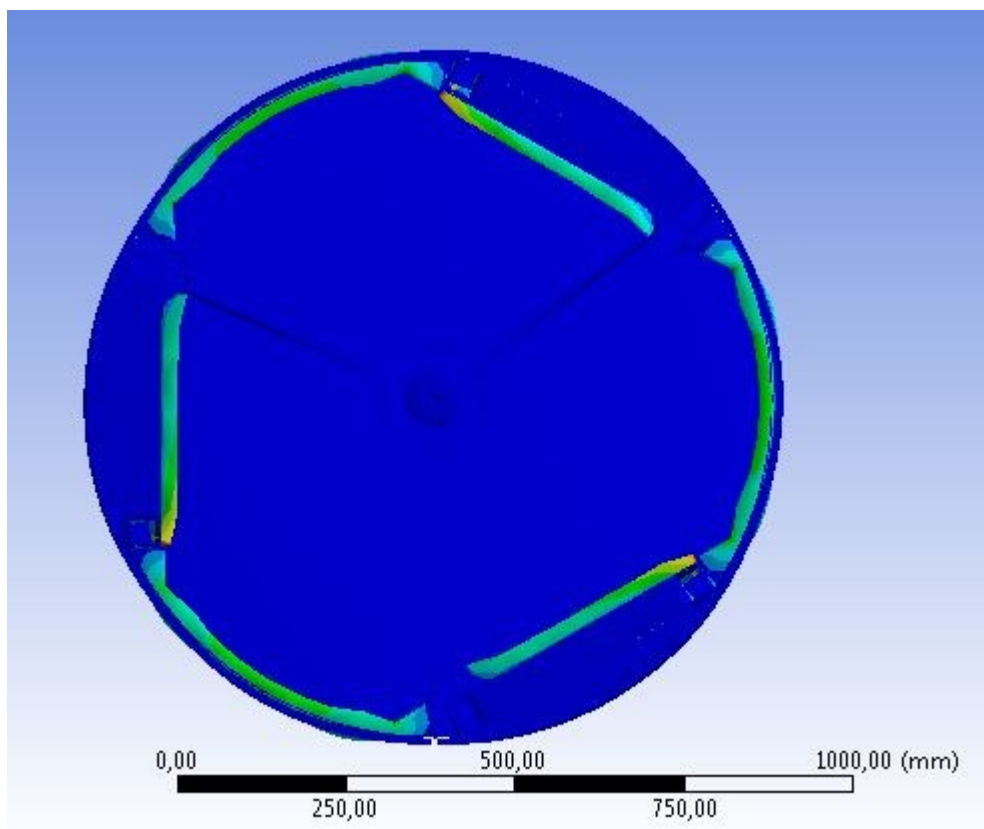


Obrázek 6-7 – Vykreslení napětí, pohled na místo s největším napětím

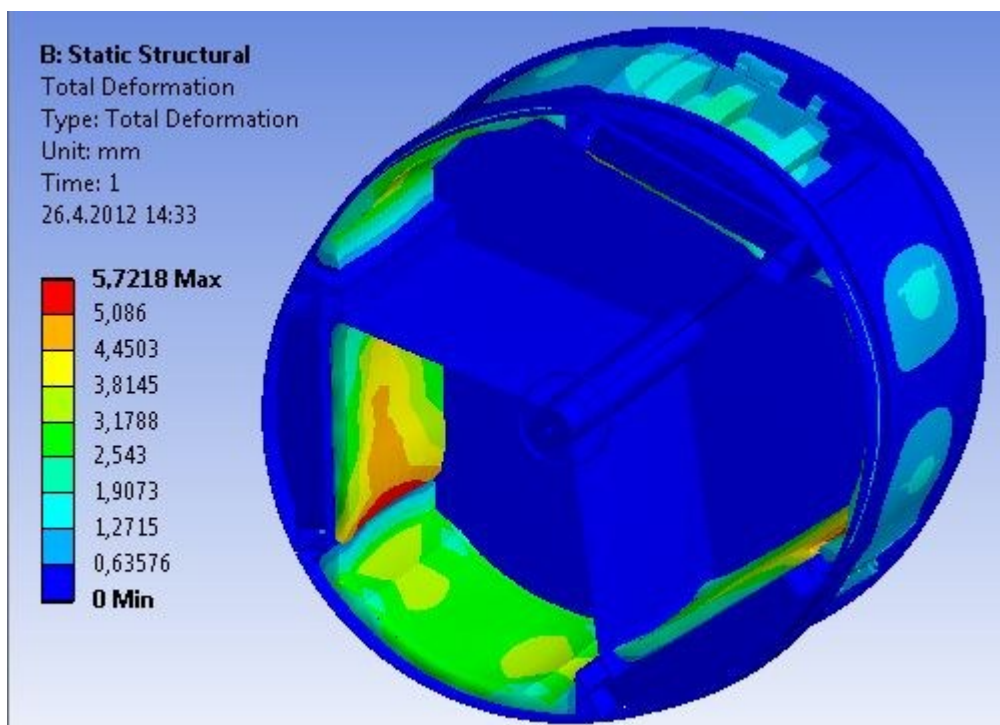
Vysoké hodnoty napětí se vyskytují na dvířkách a to v rozích, spojích rámu dvířek a ty jsou přibližně rovny 340 MPa. Dále je maximální hodnota napětí na destičce, která se nachází v těsné blízkosti nad panty dvířek, je ukrytá pod obvodovými pásy a je rovna 361 MPa.

6.2 Výsledky napěťově - deformační analýzy s náplní

Napěťově - deformační analýza bubnu automatické pračky s náplní se zabývá zkoumáním napětí a deformací bubnu pračky, buben pračky obsahuje náplň, která pro výpočet nahrazuje prádlo.

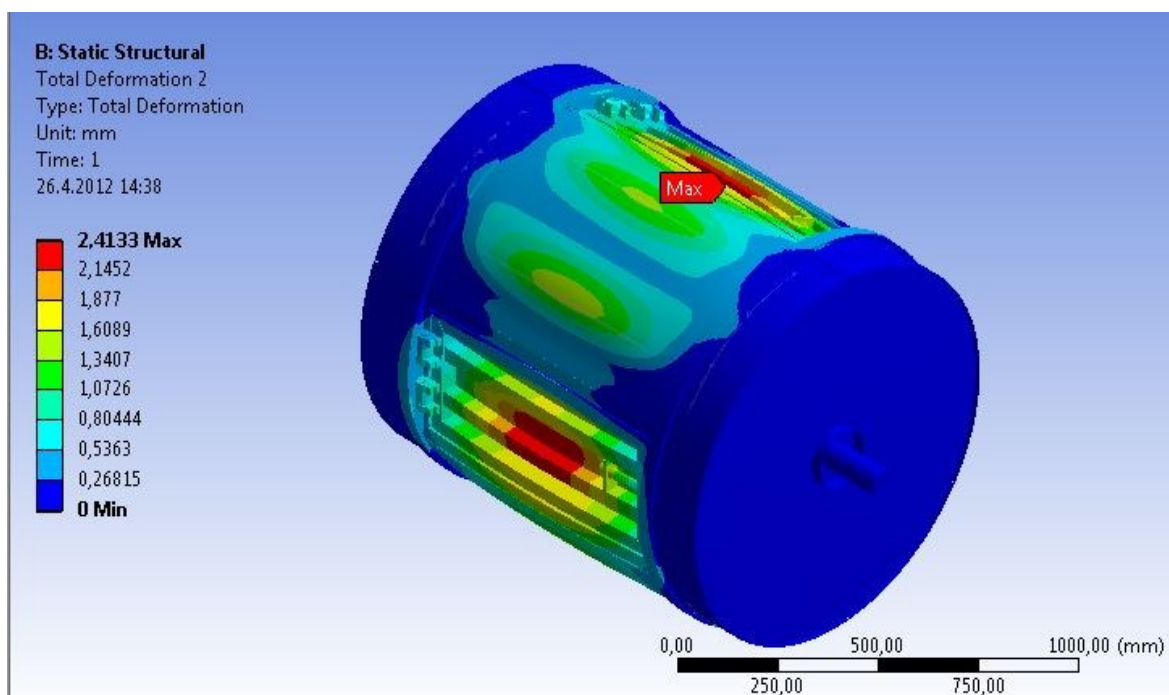


Obrázek 6-8 - Deformace náplně

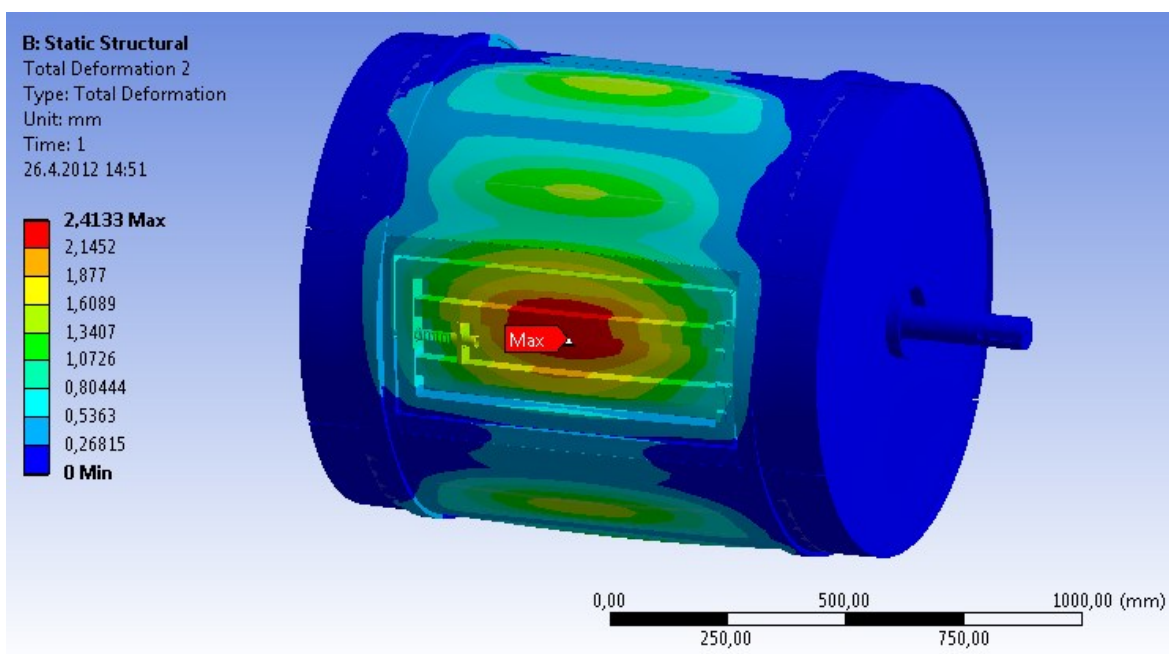


Obrázek 6-9 - Deformace náplně ISO pohled

Na *obrázcích 6-8 a 6-9* je znázorněna deformace náplně. Materiálu je nadefinována velmi nízká hodnota modulu pružnosti, tím se chová podobně jako prádlo a roztáhne se po obvodu vnitřní části bubnu automatické pračky.

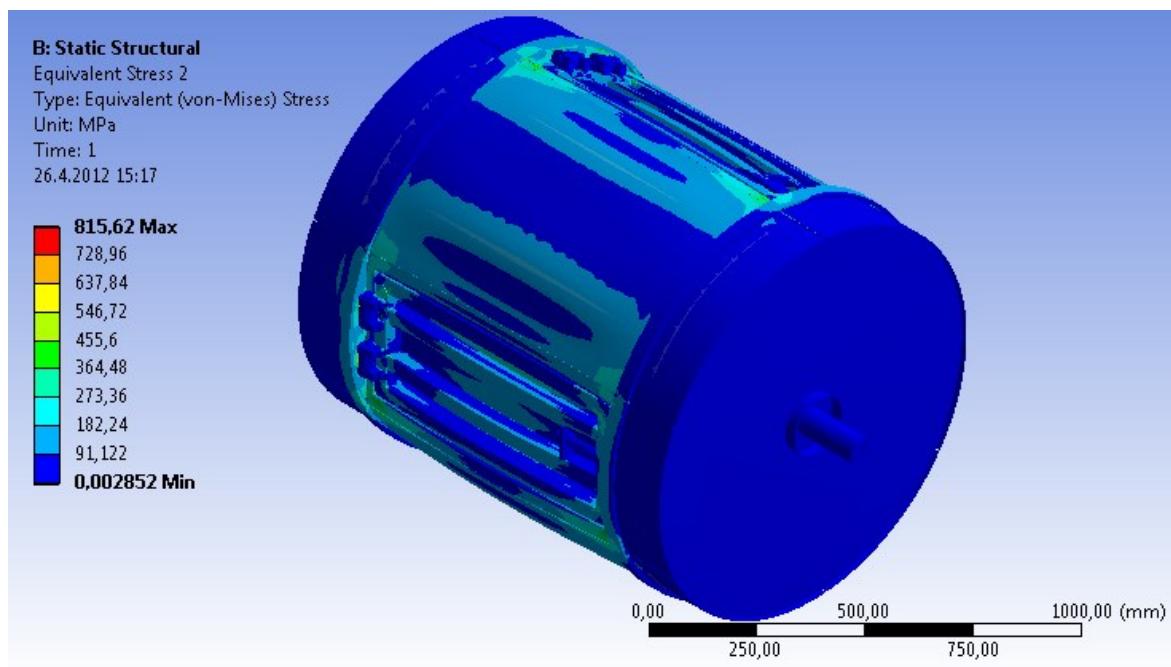


Obrázek 6-10 – Vykreslení deformací na bubnu pračky s uvažováním náplně ISO pohled

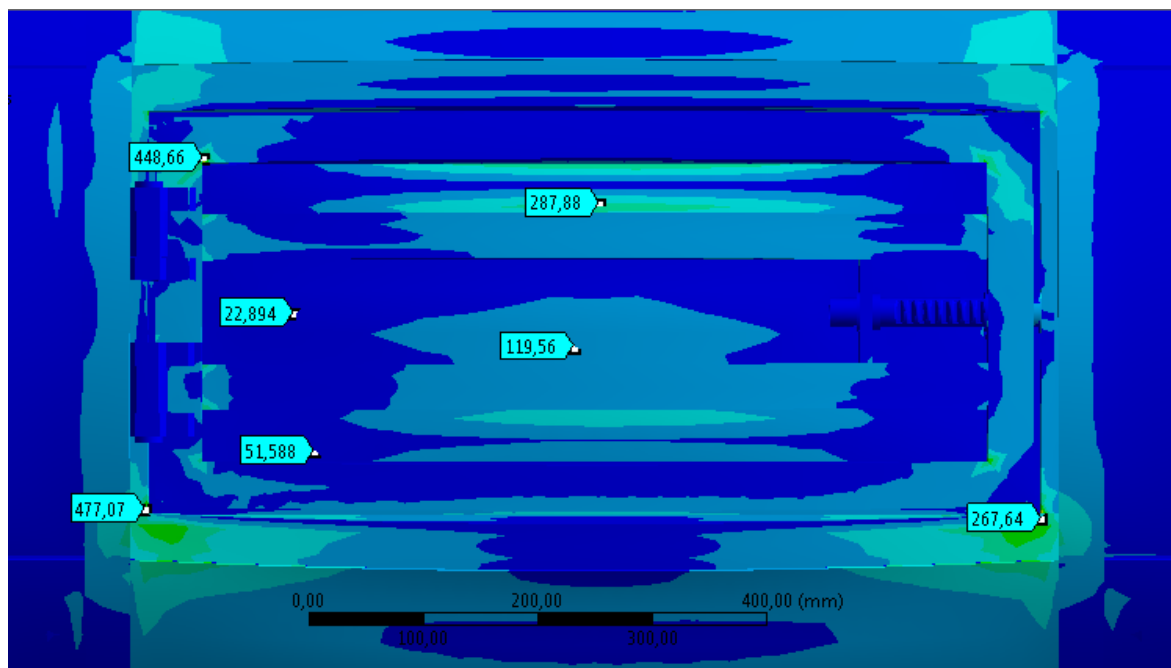


Obrázek 6-11 – Vykreslení deformací na bubnu pračky s uvažováním náplně

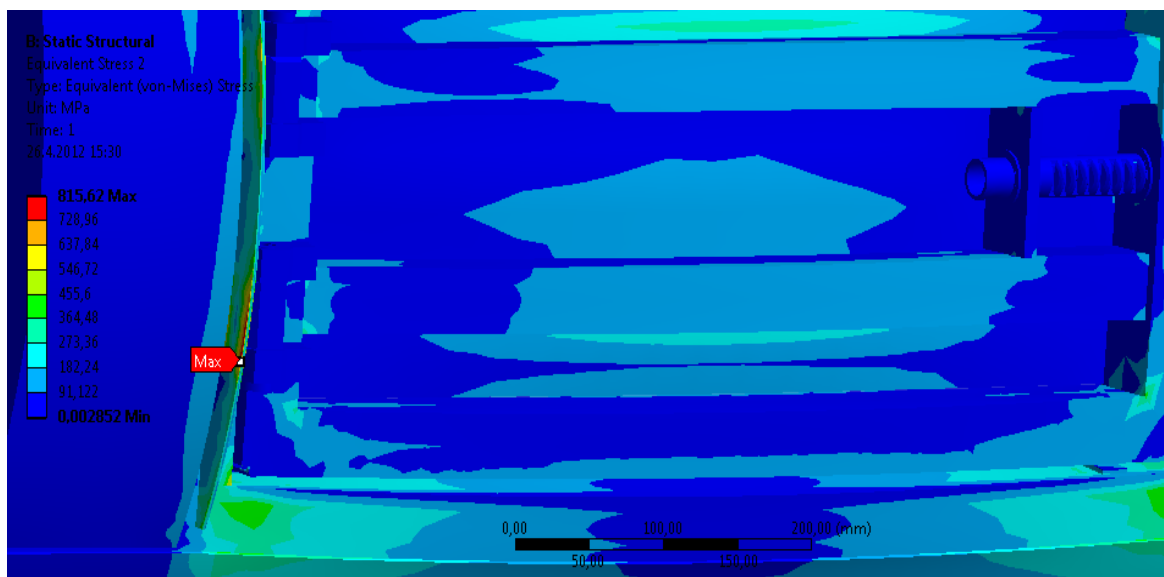
Maximální deformace se nachází obdobně jako bez uvažování náplně zhruba uprostřed délky bubnu pračky, na obvodu bubnu, na dvířkách bubnu automatické průmyslové pračky. Velikost této deformace je vyšší než bez uvažování náplně a je rovna 2,41 mm. Toto je způsobeno vyšší odstředivou silou.



Obrázek 6-12 – Vykreslení napětí na bubnu pračky s uvažováním náplně



Obrázek 6-13 – Vykreslení napětí na dvířkách bubnu pračky



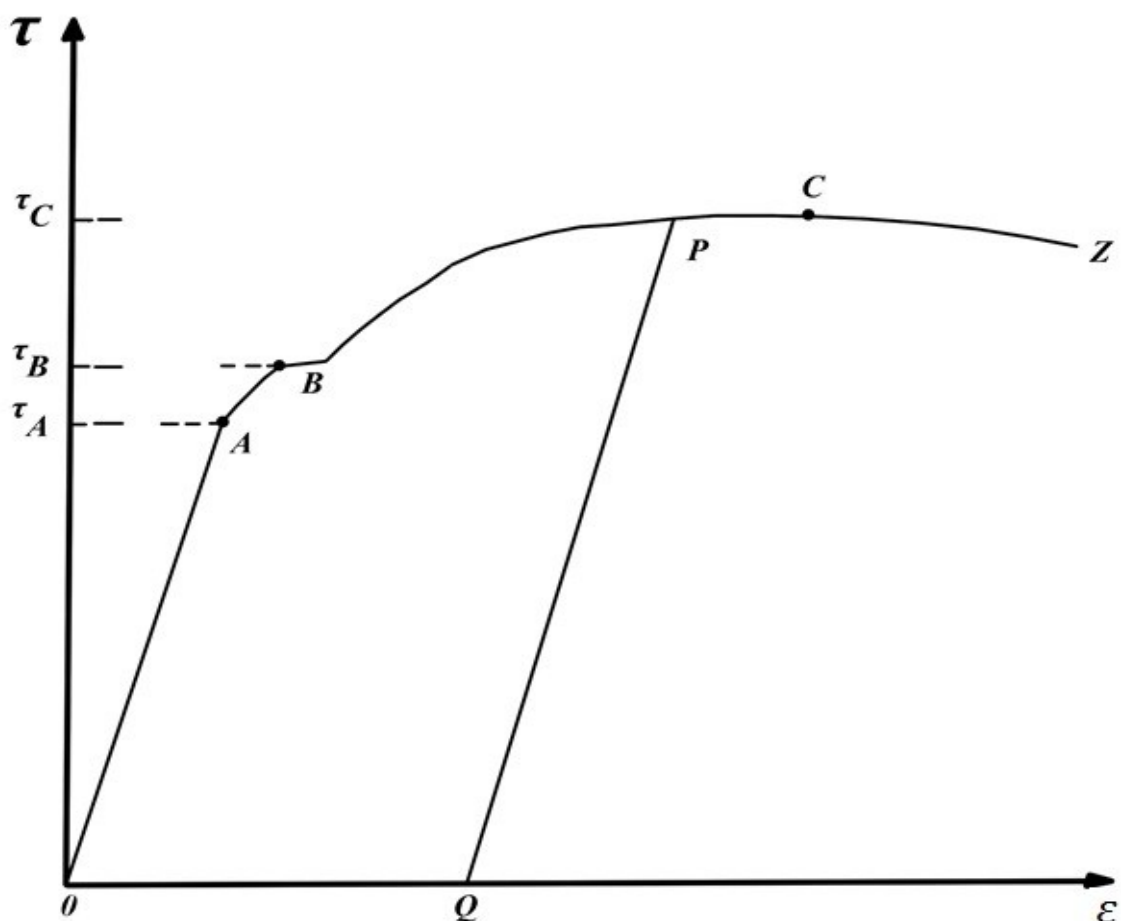
Obrázek 6-14 – Pohled na místo s maximálním napětím

Z obrázků je zřejmé, že se nejvyšší hodnoty napětí nachází na obdobných místech jako bez uvažování náplně. Místa jsou přibližně stejná, ale hodnoty jsou znatelně vyšší. V místech spojů rámu dveří se napětí přibližně rovná až 477 MPa. Maximální napětí se nachází na stejném místě jako bez uvažování náplně a jeho hodnota je rovna 816 MPa.

Při zatížení vznikly na modelu napěťové špičky, které přesahují mez kluzu. Maximální napětí odhalené napěťovou analýzou bez uvažování náplně se rovná 361 MPa. Hodnota maximálního napětí z napěťové analýzy s uvažováním náplně je až 816 MPa. Tyto hodnoty překračují mez kluzu a v případě uvažování náplně dokonce překračuje mez pevnosti. Po překročení meze kluzu jsou vztahy mezi deformacemi a napětím nelineární, tzv. nelineární chování materiálu, což navazuje na teorii plasticity, která je popsána v následující podkapitole. V další řadě bude výpočet proveden znovu, s uvažováním zmíněné teorie plasticity.

6.3 Teorie plasticity

Teorie plasticity se zabývá deformací a napjatostí takových těles, při nichž zatěžování a odlehčování nevede k vratným změnám napjatosti a deformaci. Zkoumaná tělesa zůstávají po úplném odstranění účinků zatížení zcela nebo alespoň částečně přetvořena (deformována) nebo v nich zůstává zbytkové napětí. Působení sil má obvykle vyšší intenzitu. Patří do mechaniky kontinua pevné fáze. [6]

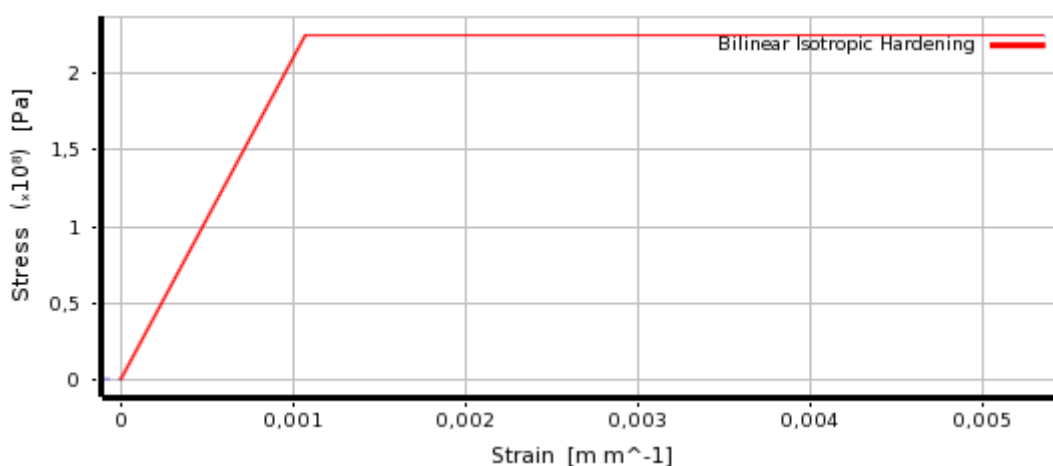


Obrázek 6-15 – Diagram tahové zkoušky

Z tahové zkoušky, při které zatěžujeme tyč (ležící v ose x) délky l a konstantního průřezu S na obou koncích silou F , vyvolané napětí v tyči je $\tau = \frac{F}{S}$. Přitom zanedbáváme zmenšení průřezu tyče v důsledku protažení. Měříme-li nyní závislost poměrného prodloužení $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ na napětí τ , dostaneme diagram zkoušky tahem, viz *obrázek 6-3-1*. Na obrázku, část křivky OA je přímka, která odpovídá pružnému chování materiálu, které se po odlehčení vrátí do původního stavu. Příslušné napětí τ_A se nazývá mez úměrnosti. V tomto rozsahu platí přímá úměrnost mezi napětím a deformací, kde koeficientem úměrnosti je tzv. Youngův modul pružnosti E . Tento zákon je znám jako Hookeův zákon. Tento zákon lze ještě zobecnit. Část křivky mezi body A a B je křivá a v bodě B se náhle zvětší protažení bez dalšího zatěžování a tedy bez změny napětí. Odpovídající napětí τ_B se nazývá mez kluzu. Při dalším zatěžování vzrůstá i napětí v tyči až do bodu C s odpovídajícím napětím τ_C , tzv. mez pevnosti. Zvyšováním zatěžování tyče a tedy zvyšováním napětí v tyči dochází k přetržení tyče.

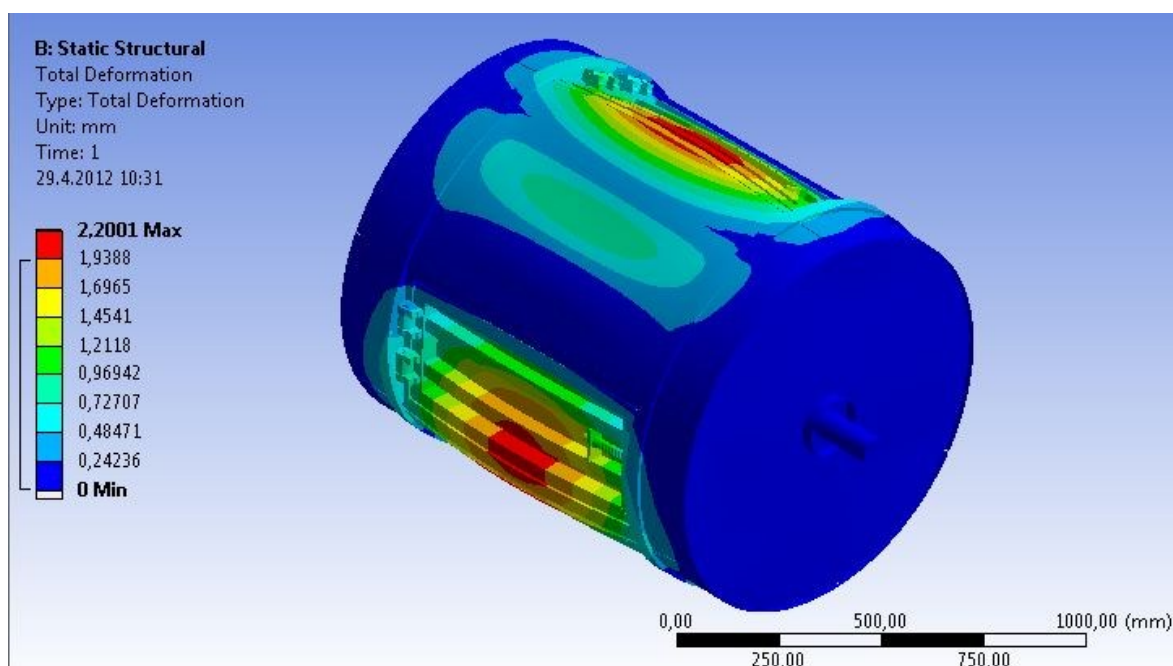
Nechť v určitém bodě začneme snižovat zatížení tyče až na nulovou hodnotu, tedy snižovat napětí v tyči. Potom se po stejné křivce vrátíme do počátku zatěžovací křivky; maximální z takových napětí nazýváme mezí pružnosti τ_E a obvykle je $\tau_E \geq \tau_A$ a deformace příslušející napětí $\tau \leq \tau_E$ nazýváme pružné či elastické deformace. Jestliže při zatěžování jsme překročili hodnotu τ_E a pak teprve odlehčili, potom část prodloužení sice vymizí, ale jistá část trvale zůstává. Tuto trvalou deformaci nazýváme plastickou deformací. Studium pružných deformací se zabývá teorie pružnosti, studium plastických deformací teorie plasticity. [7]

Před provedením vlastní analýzy s uvažováním plastických deformací je nutno dodefinovat materiálové parametry pro oblast plastických deformací. Bude uvažován bilineární materiálový model, ve kterém je křivka zatěžování materiálu v plastické oblasti nahrazena přímkou se směrnicí odpovídající tečnému modulu. Pro uvažovaný případ byla jeho hodnota zvolena 20 MPa.

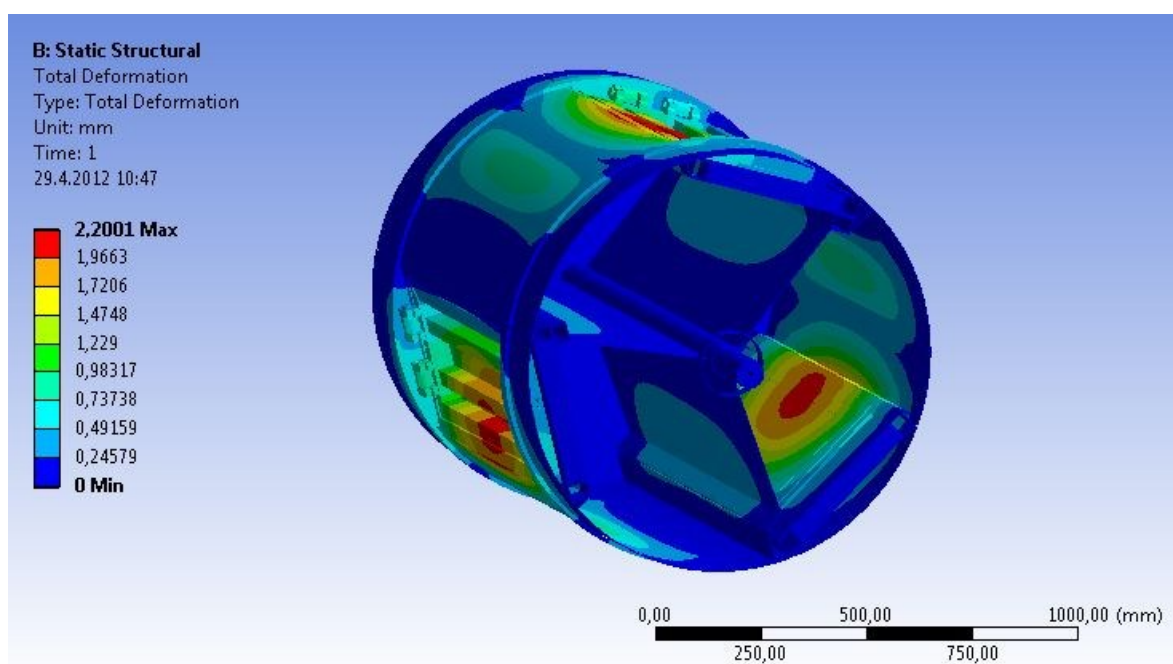


6.4 Výsledky napěťově – deformační analýzy bez náplně s uvažováním plasticity

Při kontrole výsledků se zavedením plasticity je nutno kontrolovat nejen napětí a deformace při zatížení, ale také plastickou deformaci a zbytkové pnutí po odlehčení zatížení.

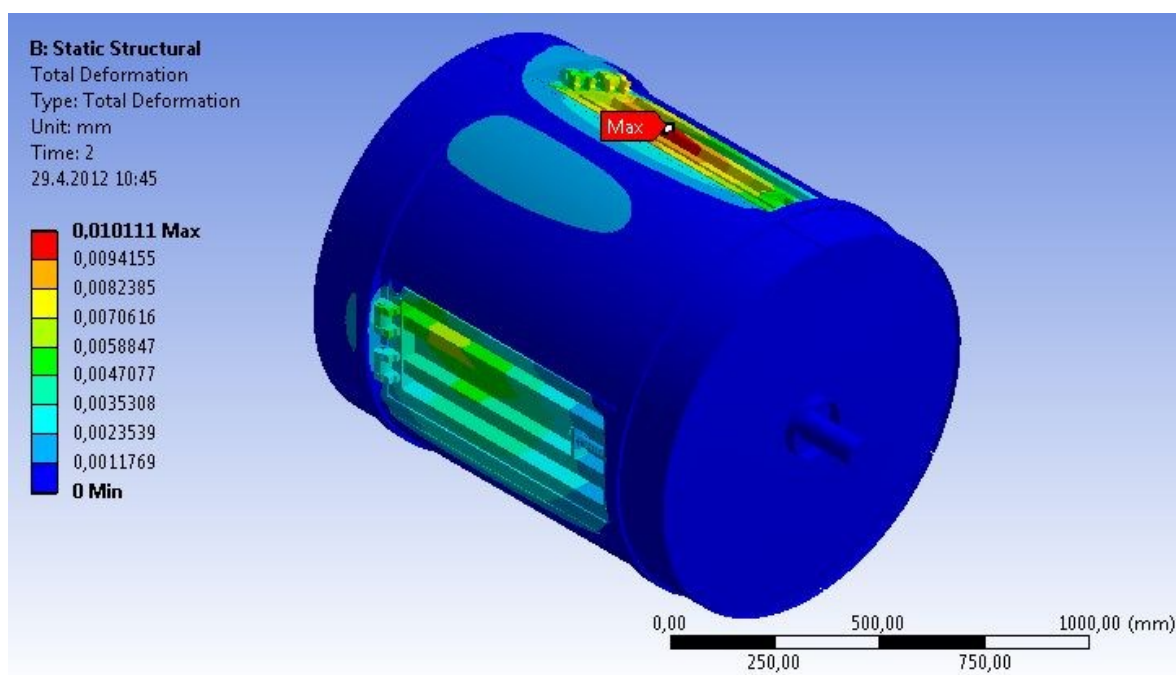


Obrázek 6-16 – Vykreslení deformací při zatížení

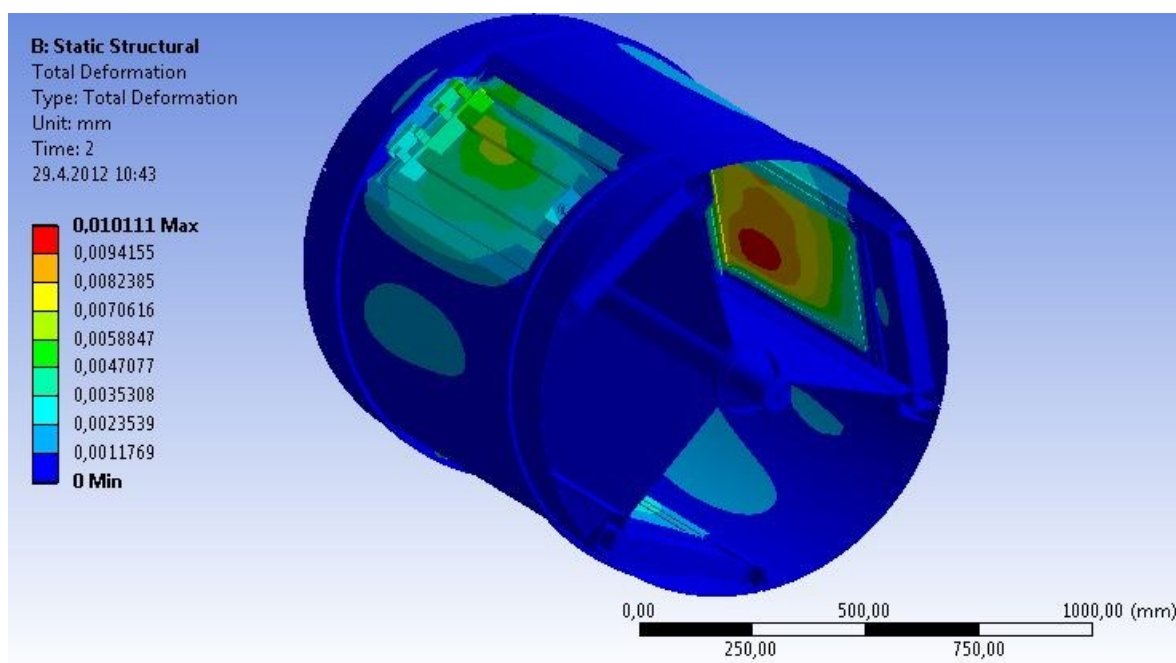


Obrázek 6-17 – Vykreslení deformací při zatížení, pohled do vnitřní části bubnu

Největší deformace při zatížení se nachází na obvodě bubnu pračky a to v oblasti dvířek a v jejich těsné blízkosti. Tato deformace je rovna 2,2 mm.

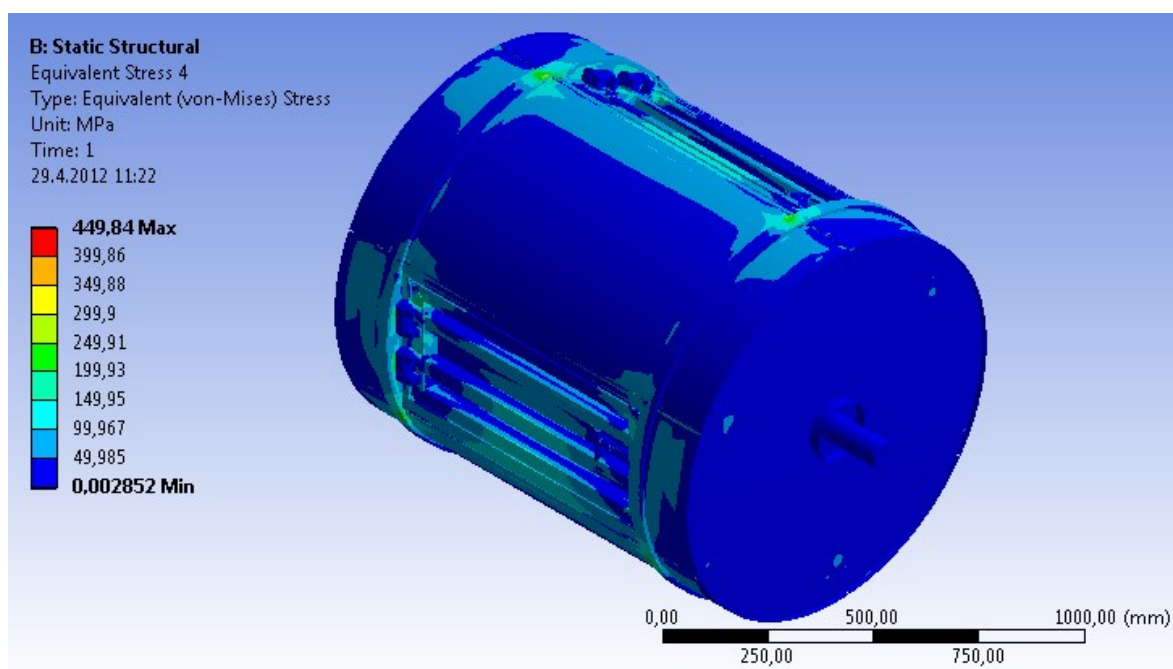


Obrázek 6-18 – Vykreslení deformací po odlehčení

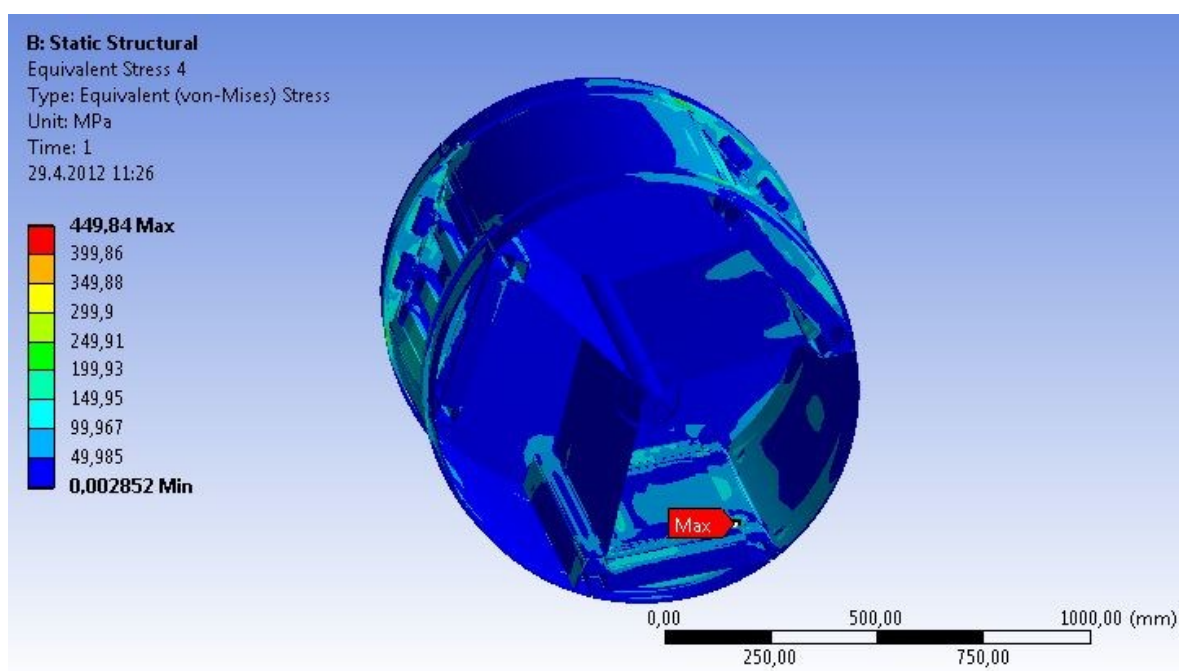


Obrázek 6-19 – Vykreslení deformací po odlehčení, pohled do vnitřní části bubnu

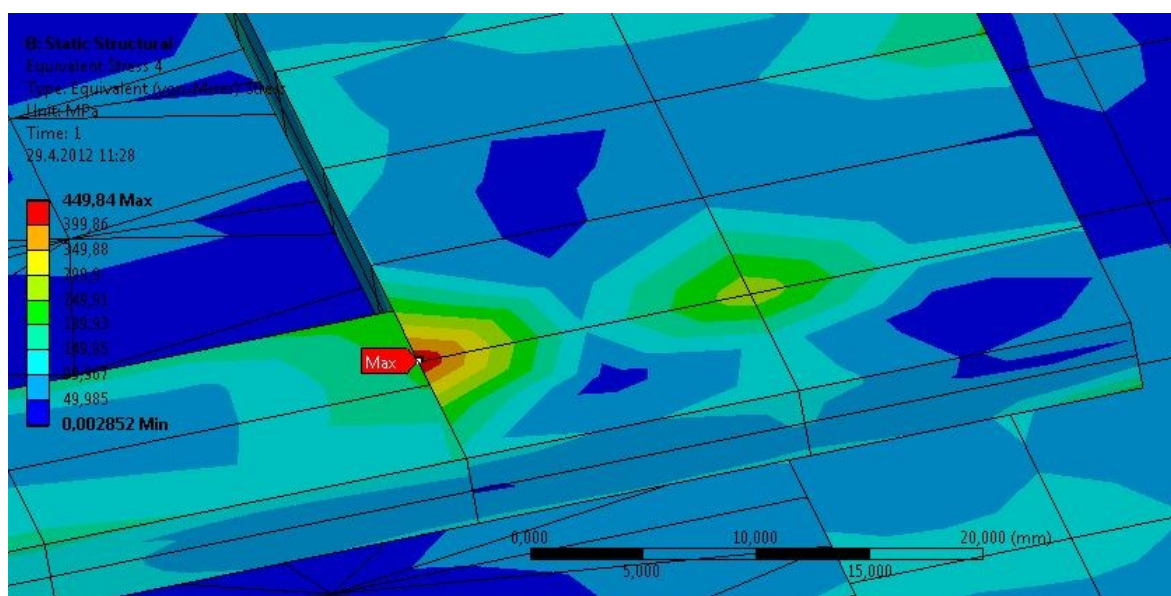
Po odlehčení zatížení zůstává plastická deformace, vyskytuje se v místech nejvyšších hodnot deformací při zatížení. Tato plastická deformace je deformace trvalá a má hodnotu 0,01 mm.



Obrázek 6-20 – Vykreslení napětí při zatížení

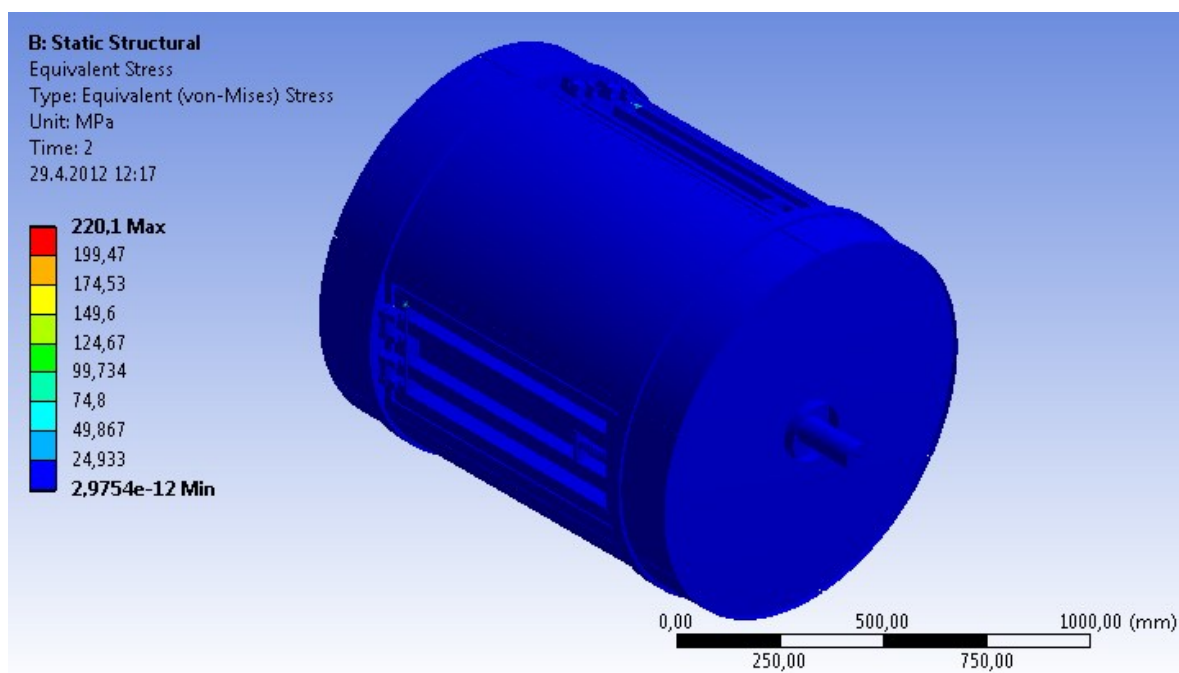


Obrázek 6-21 – Vykreslení napětí při zatížení, pohled do vnitřní části bubnu

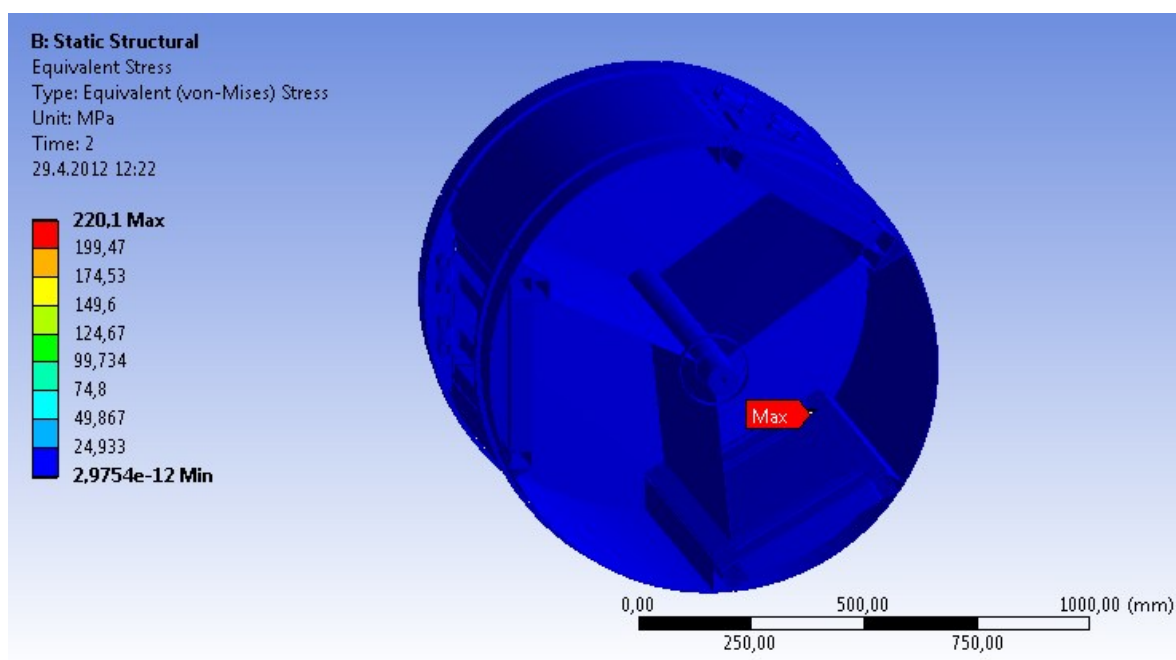


Obrázek 6-22 – Vykreslení napětí při zatížení, pohled na místo s maximálním napětím

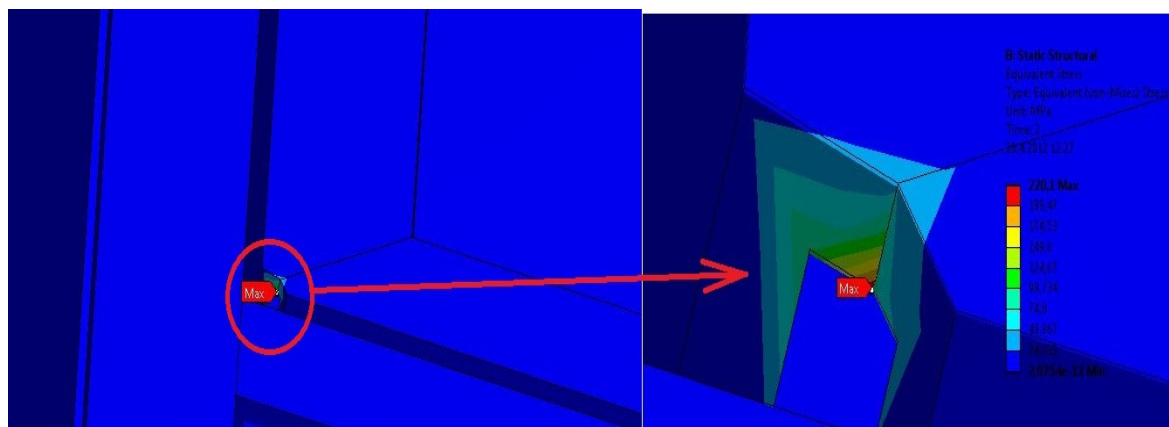
Nejvyšší napětí je 450 MPa a nachází se ve vnitřní části bubnu pračky, konkrétně na destičce určené pro zamezení pohybu dvířek do vnitřní části bubnu.



Obrázek 6-23 – Vykreslení napětí po odlehčení



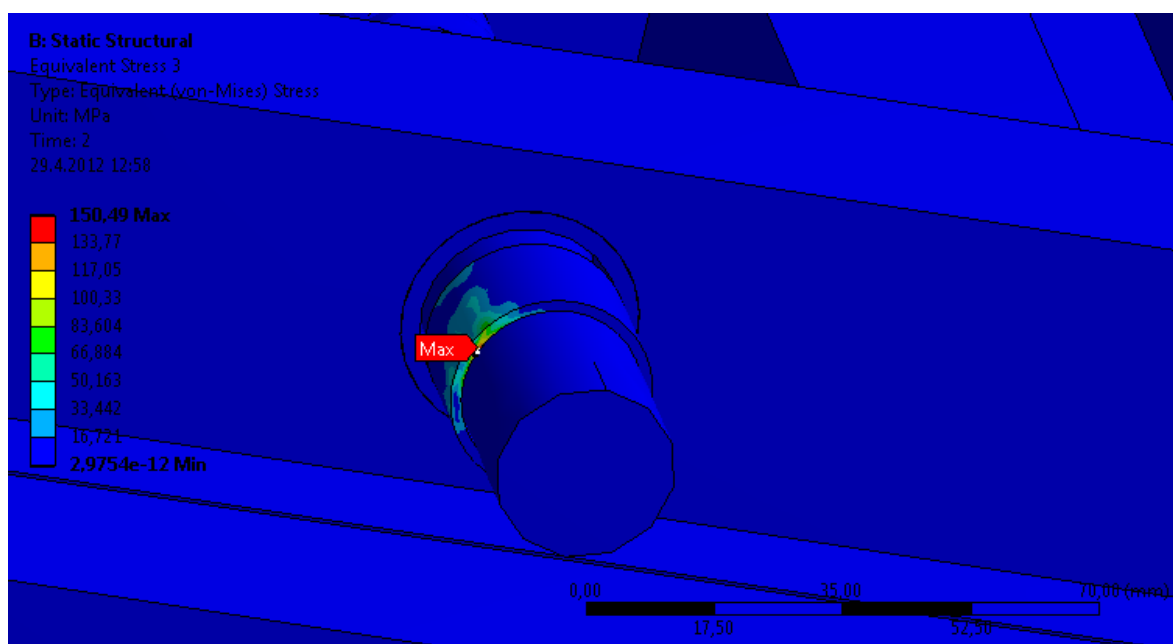
Obrázek 6-23 – Vykreslení napětí po odlehčení, pohled do vnitřní části bubnu



Obrázek 6-23 – Vykreslení napětí po odlehčení, pohled na nejvyšší pnutí

Na *obrázku 6-23* je znázorněno místo s nejvyšší hodnotou zbytkového pnutí, které je rovno 220 MPa a nachází se ve spoji rámu dvířek.

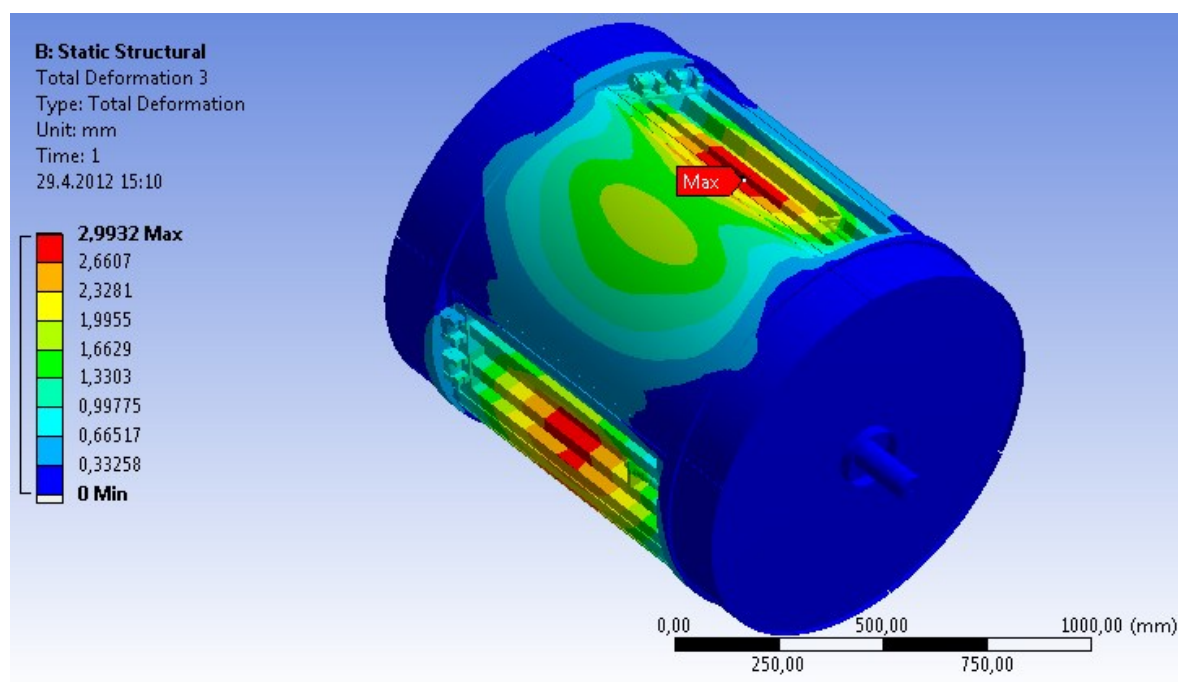
Další místo s vysokým napětím je na vložce čepu dvířek viz *obrázek 6-24* a toto napětí je rovno přibližně 150 MPa.



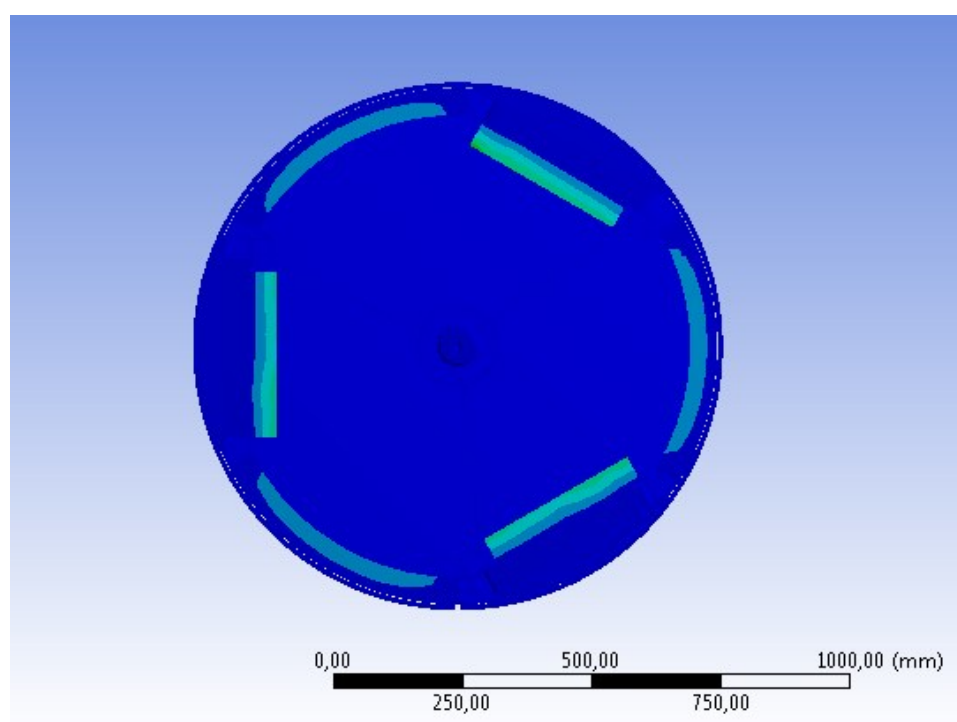
Obrázek 6-24 – Vykreslení napětí po odlehčení v místě čepu dvířek

6.5 Výsledky napěťově – deformační analýzy s náplní a uvažováním plasticity

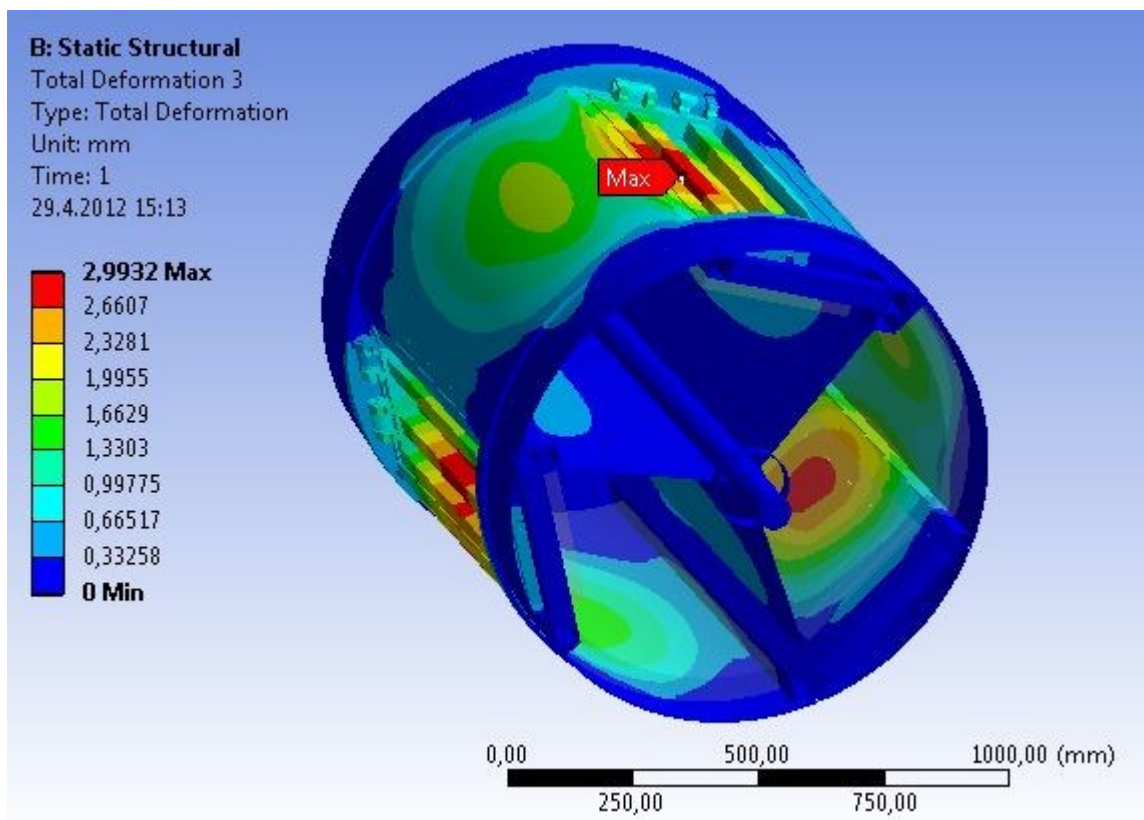
Poslední kapitola se bude zabývat výsledky napěťově – deformační analýzy s uvažováním náplně a plasticity a to v prvním kroku plného zatížení a následně po odlehčení zatížení pro zjištění plastické deformace a zbytkového pnutí.



Obrázek 6-25 – Vykreslení deformací při zatížení

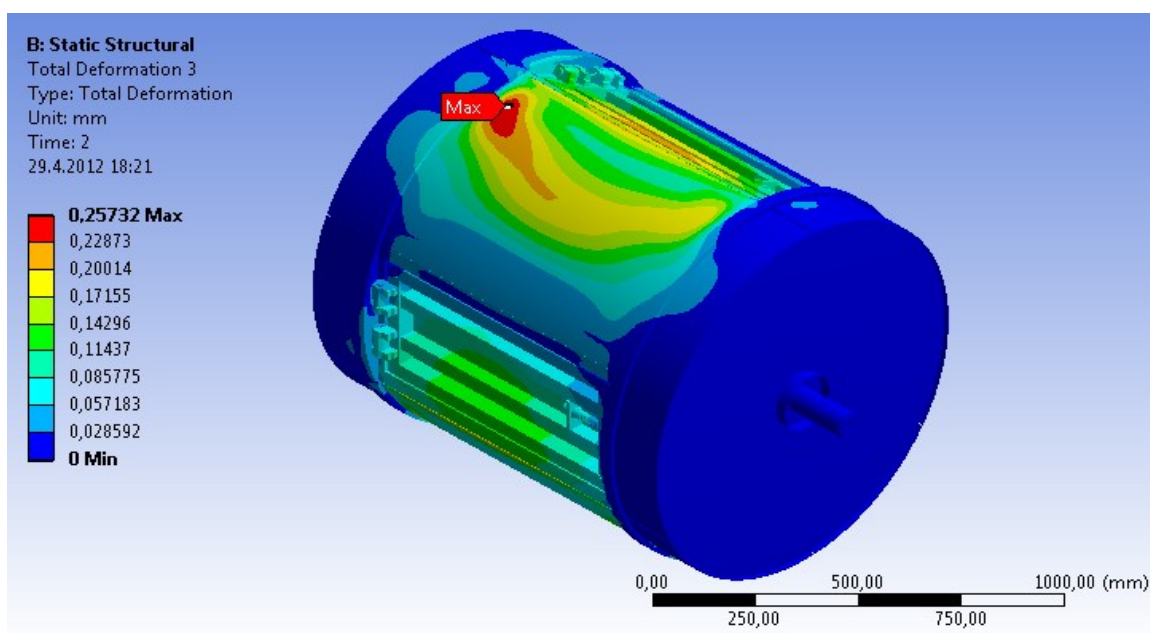


Obrázek 6-26 – Deformace náplně

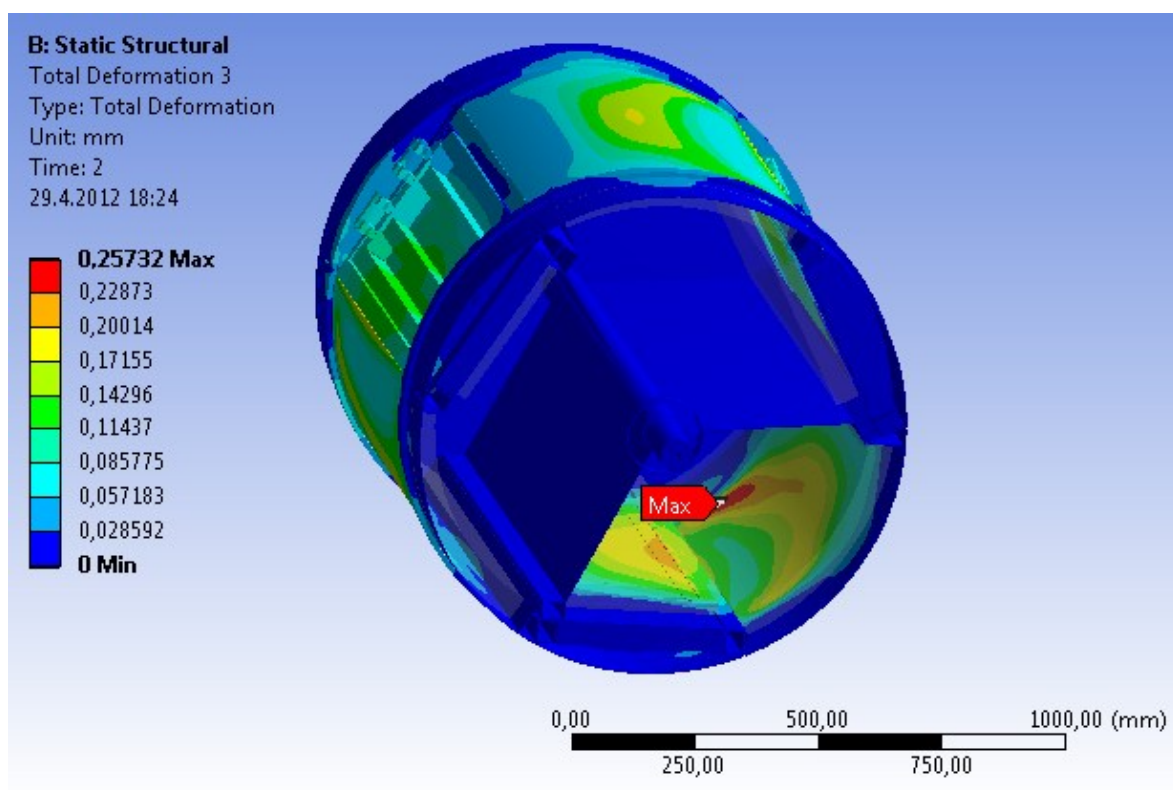


Obrázek 6-27 – Vykreslení deformací při zatížení, pohled do vnitřní části bubnu

Maximální deformace bubnu automatické průmyslové pračky, při uvažování náplně a zahrnutí plasticity vznikne opět v oblasti dvířek. Hodnota maximální deformace je 3 mm.

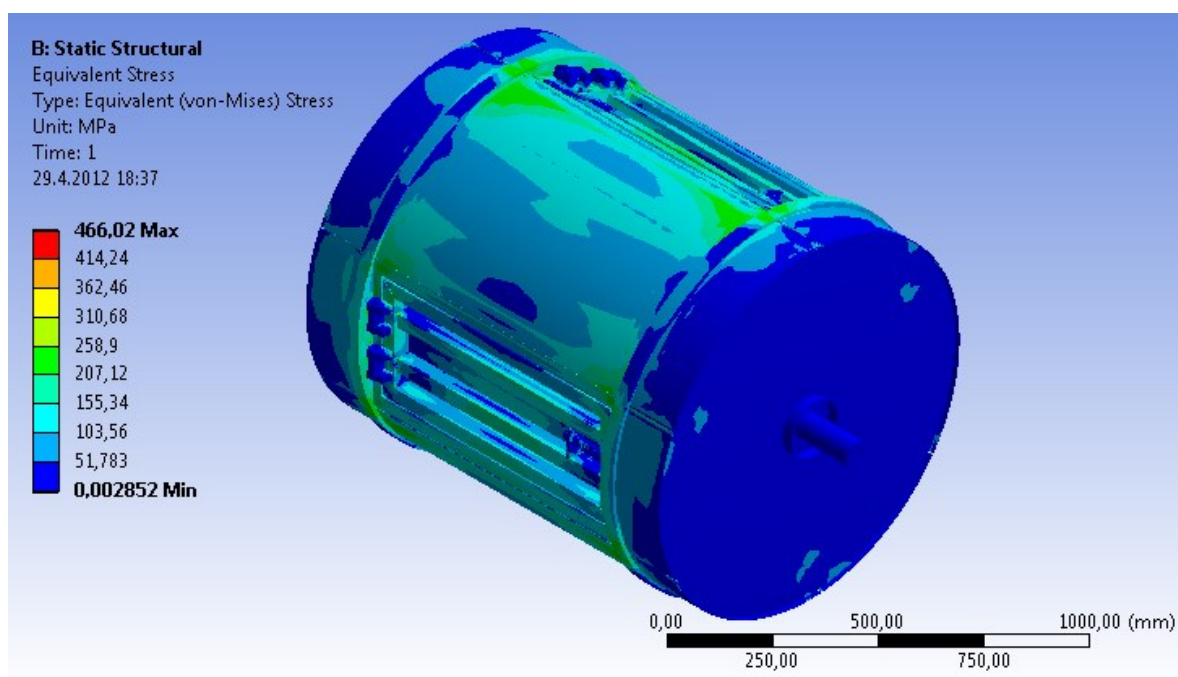


Obrázek 6-28 – Vykreslení deformací po odlehčení

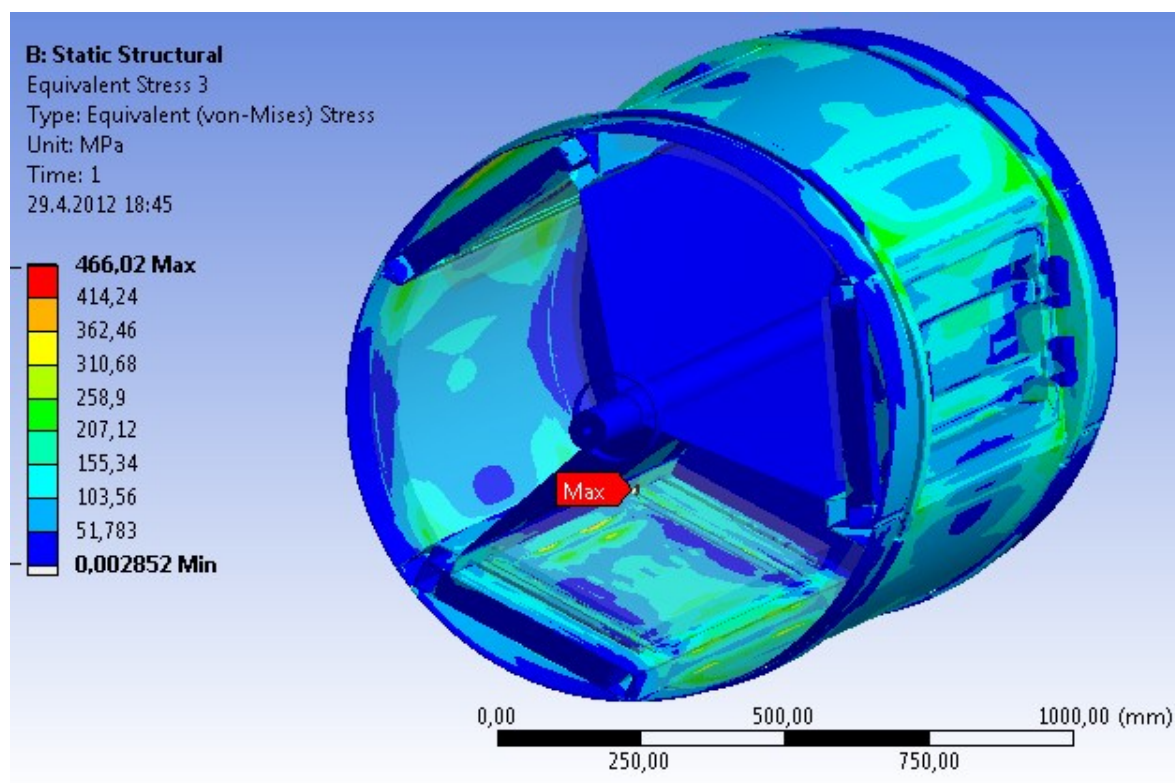


Obrázek 6-29 – Vykreslení deformací po odlehčení, pohled do vnitřní části bubnu

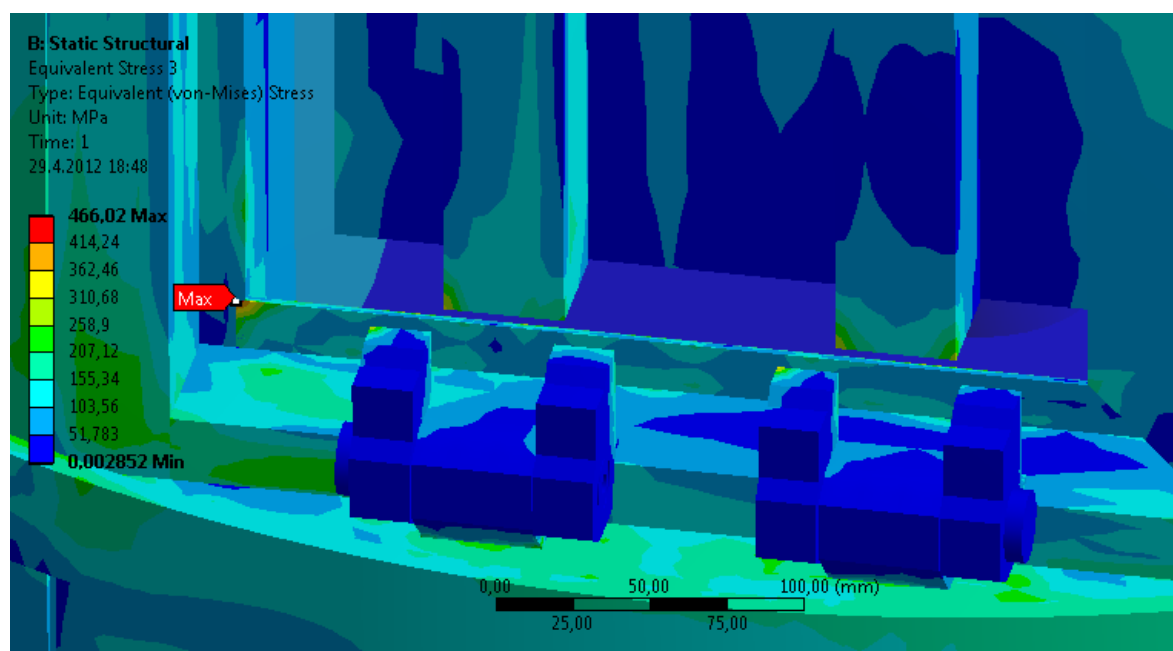
Po odlehčení zatížení na bubnu automatické průmyslové pračky zůstává plastická deformace, tedy deformace trvalá. Tato plastická deformace je nejvyšší na obvodě bubnu pračky a nabývá hodnoty 0,26 mm.



Obrázek 6-30 – Vykreslení napětí při zatížení

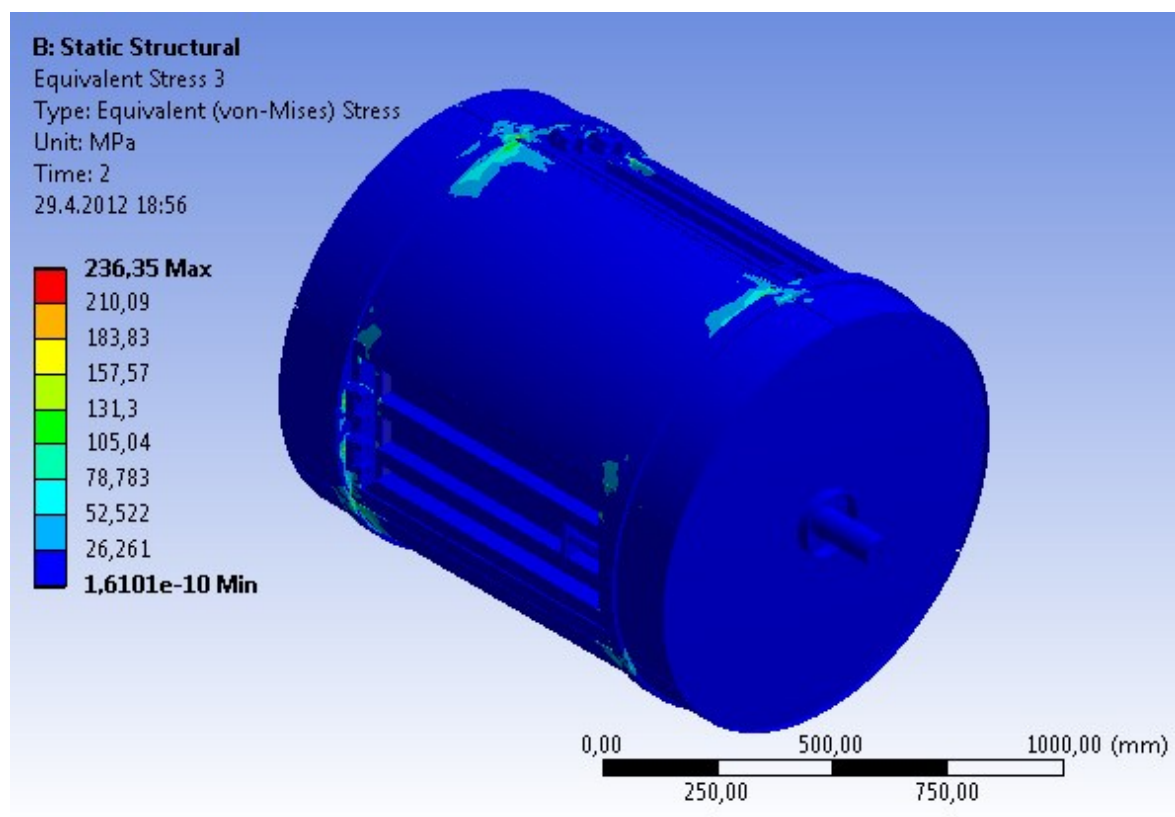


Obrázek 6-31 – Vykreslení napětí při zatížení, pohled do vnitřní části bubnu

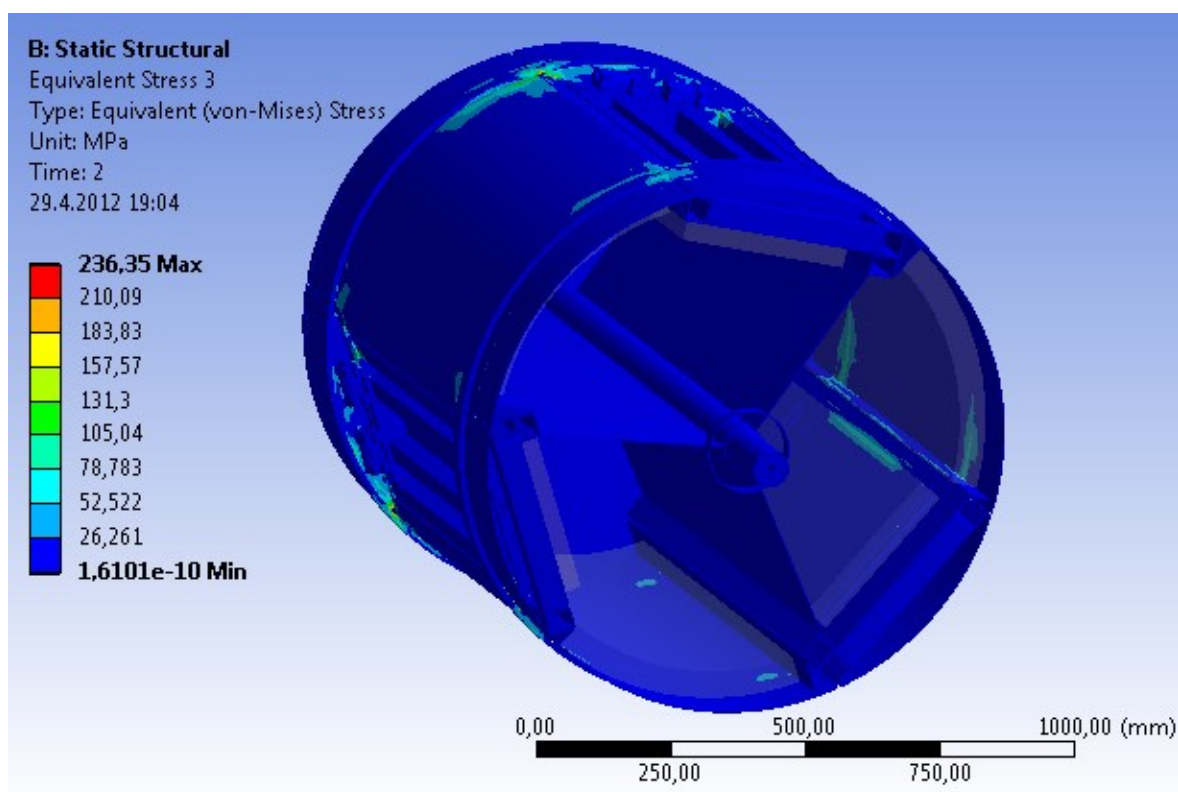


Obrázek 6-32 – Vykreslení napětí při zatížení, pohled na místo maximálního napětí

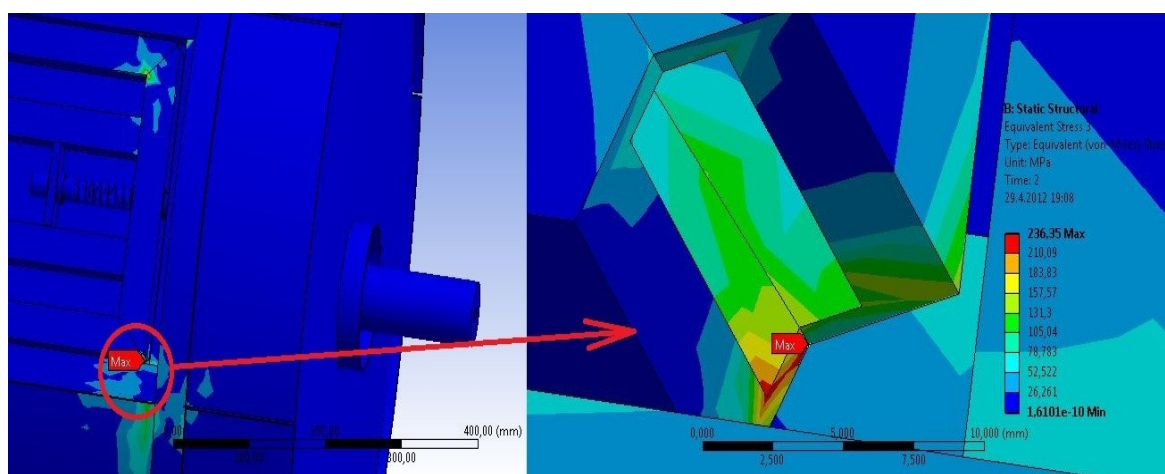
Nejvyšší napětí je 466 MPa a nachází se na destičce, určené pro zamezení pohybu dvířek do vnitřní části bubnu viz *Obrázek 6-32* na kterém je odstraněna viditelnost rámu dvířek, aby na dané místo součásti bylo vidět.



Obrázek 6-33 – Vykreslení napětí po odlehčení



Obrázek 6-33 – Vykreslení napětí po odlehčení, pohled do vnitřní části bubnu



Obrázek 6-33 – Vykreslení napětí po odlehčení, pohled na místo s nejvyšším napětím

Na obrázku 6-33 je znázorněno místo s nejvyšší hodnotou zbytkového pnutí, které je rovno 236 MPa a nachází se ve spoji rámu dvířek.

7 Vyhodnocení

Předmětem bakalářské práce bylo provést napět'ově – deformační analýzu bubnu automatické pračky MB 90, průmyslové, hygienické pračky, jejíž kapacita je 90 kg prádla.

V úvodu byla popsána historie praček a jejich postupný vývoj. Dále úvod obsahuje seznámení s výrobcem praček Primus, využití průmyslových, hygienických praček a v poslední řadě srovnání specifika běžné automatické pračky s pračkou MB 90.

V následující kapitole bylo teoreticky popsáno numerické řešení a metoda konečných prvků, pomocí které byla vyřešena napět'ově – deformační analýza bubnu automatické pračky.

Třetí kapitola popisuje dodaný model bubnu automatické pračky firmy Primus. Následně byly uvedeny úpravy modelu pračky, které obsahují odstranění zkosených hran, pro výpočet přebytkového děrování, součástí apod. Byly provedeny potřebné úpravy modelu pro zadání okrajových podmínek. V další podkapitole byla vyřešena náhrada děrovaných součástí pro zjednodušení modelu a významné zkrácení doby řešení. Dále byly vymodelovány náplně a v poslední řadě jsou ve třetí kapitole uvedeny využité materiály pro buben automatické pračky a náplně.

Ve čtvrté kapitole byly zadány okrajové podmínky - uložení hřídele v ložiskách a zatížení úhlovou rychlostí.

V páté kapitole byl popsán postup vytvoření konečnoprvkového modelu, postupné síťování a řešení kontaktů mezi součástmi. Na celý model bubnu automatické pračky bylo použito 75 715 elementů a 263 955 uzlů. V poslední řadě byla „natáhnuta“ síť na model náplně.

V poslední kapitole byla provedena napět'ově – deformační analýza bubnu automatické pračky s náplní i bez náplně.

Výsledky napět'ově – deformační analýzy bubnu automatické pračky jsou následující:

- 1) Nejvyšší hodnota deformace bubnu automatické pračky bez uvažování náplně je rovna 1,8 mm a nachází se na dvířkách bubnu automatické pračky.
- 2) Nejvyšší hodnota napětí bubnu automatické pračky bez uvažování náplně činí 361 MPa.
- 3) Nejvyšší hodnota deformace bubnu automatické pračky s uvažováním náplně je rovna 2,4 mm a nachází se opět v místech dvířek bubnu pračky.

- 4) Nejvyšší hodnota napětí bubnu automatické pračky s uvažováním náplně činí 815 MPa.

Vypočtená napětí dosahují hodnot převyšujících mez kluzu a v případě s uvažováním náplně dokonce i mez pevnosti, proto je v následující podkapitole popsána teorie plasticity a výpočet byl proveden znovu s uvažováním plasticity. Jelikož při uvažování plasticity po odlehčení součásti zůstane plastická deformace a zbytkové pnutí v materiálu, výsledky jsou uvedeny vždy při zátěži a následně po odlehčení.

Výsledky napěťově – deformační analýzy bubnu automatické pračky s uvažováním plasticity jsou následující:

- 1) Nejvyšší hodnota deformace bubnu automatické pračky bez uvažování náplně je rovna 2,2 mm a nachází se na dvířkách bubnu automatické pračky a po odlehčení je plastická deformace rovna 0,01 mm.
- 2) Nejvyšší hodnota napětí bubnu automatické pračky bez uvažování náplně činí 450 MPa a následně po odlehčení zůstává napětí 220 MPa.
- 3) Nejvyšší hodnota deformace bubnu automatické pračky s uvažováním náplně je rovna 3 mm opět v místech dvířek bubnu pračky a po odlehčení zůstává plastická deformace o hodnotě 0,25 mm.
- 4) Nejvyšší hodnota napětí bubnu automatické pračky s uvažováním náplně činí 466 MPa a dále po odlehčení zátěže zůstává napětí o hodnotě 236 MPa.

8 Závěr

Byla provedena napěťově - deformační analýza bubnu automatické pračky firmy Primus s označením MB90. Analýza byla provedena metodou konečných prvků v programu ANSYS 13.0. Výpočet byl proveden s uvažováním náplně i bez uvažování náplně, následně i s uvažováním plasticity.

Na základě analýzy vypočtených dat lze konstatovat následující:

- 1) Vzniklé deformace bubnu automatické pračky bez náplně i s náplní při zátěži jsou přijatelné vzhledem k mezeře mezi bubnem pračky a statorovou částí.
- 2) Vzniklé napěťové špičky jsou vysoké a mohou být způsobeny následujícím:
 - Vysoké napětí se v těchto místech opravdu vyskytuje.
 - Vysoké napěťové špičky jsou způsobeny chybou diskretizace (např. příliš hrubé síťování apod.).

- Vysoké napětí mohou být způsobeny přítomností vrubů v daném místě. Tento vrub může vzniknout odstraněním zaoblení při zjednodušování modelu.
- Je nutno sledovat fakt, že vysoké hodnoty napětí se vyskytují vždy v místech kontaktů „bonded“ tzv. slepení které je mohou způsobovat.

Všechny zjištěné napěťové špičky jsou pouze lokální (na ploše jednoho elementu), lze tedy usuzovat, že jsou způsobeny vlivem hrubší diskretizace, popř. ostrým vrubem v místě zjednodušení. Zmíněné napěťové špičky jsou nutnou obětí při snaze vytvořit numerický model celé součásti, řešitelný při použití dosažitelné výpočetní techniky a v rozumných časech.

Výsledky je možno brát s ohledem na to, že buben automatické pračky se v praxi bude pohybovat otáčkami $n = 800$ ot/min a s maximální zátěží 90 kg prádla, napěťově – deformační analýza bubnu automatické pračky byla vypočtená na požadavek zadavatele z důvodu bezpečnosti pro rotaci bubnu otáčkami $n = 900$ ot/min se zátěží 144 kg.

Literatura:

- [1] Historie praní. *Pračky* [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z:
<http://www.pracky.org/historie-prani/>
- [2] Historie. *Primus* [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z:
<http://www.primuslaundry.com/company.aspx?lang=CZ&swf=company&mode=history>
- [3] Průmyslové pračky hygienické. *Meron, a.s.* [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z:
<http://www.meron.cz/prumyslove-pracky-hygienicke/>
- [4] FUSEK, Martin a HALAMA Radim. VŠB - TU OSTRAVA A ZÁPADOČESKÁ
UNIVERSITA V PLZNI. *MKP A MHP*. 2011, 95 s.
- [5] FINK, Milan a ŘEZNÍČEK Ladislav. STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA, Trutnov, Školní
101. *FEM/MKP - Základy použití metody konečných prvků pro technické výpočty v
programu Autodesk Inventor Professional*. Trutnov, 2006, 57s.
- [6] Teorie plasticity. Z: *Wikipedie: internetová encyklopedie* [online]. San Francisco (CA):
Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie_plasticity
- [7] Zobecněný Hookeův zákon. *EuroMISE* [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z:
<http://ucebnice.euromise.cz/index.php?conn=0&ion=biomech&node=node22>

Poděkování

Rád bych upřímně poděkoval vedoucímu práce Ing. Zdeňku Porubovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, rady a veškerý čas, který mi věnoval.